2

Natanson Wł.

Wiadomości z nauki fizyki (1901).
– dla seminarium nauczycielskiego

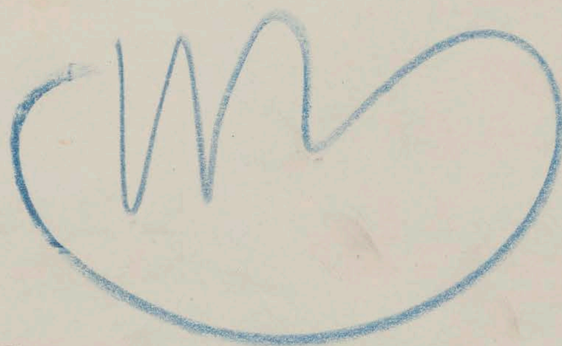
Red I

R. I – V – k. 1 – 141b (brak k. 115 – 120) [illegible]
(k. 141a – b – [illegible]) [Kolatur!]

R. VI – k. 1 – 186, k. 162, 164
(k. 18[illegible] – b – [illegible]) [[illegible]]

I

[illegible] Natansona



Rozdział I

ROZDZIAŁ PIERWSZY.

O ruchu. O siłach. O ciężkości. O ciążeniu.

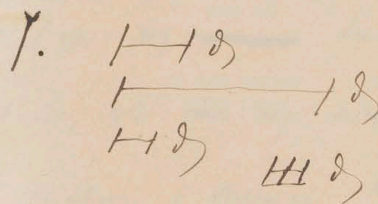
---

§ 1. Ciała.

Mamy wciąż do czynienia z różnemi rzeczami czyli przedmiotami; w nauce nazywamy je *ciałami*. Sprzęty nasze naprzykład, naczynia, narzędzia, budynki, odzież nasza, potrawy, napoje, dalej kamienie, rośliny, zwierzęta — są to ciała. Drobne ziarnko piasku jest ciałem, olbrzymia góra jest ciałem. Zarówno kawałek żelaza jest ciałem, jak chmura na niebie, jak dym, uchodzący z komina. Woda, płynąca rzeką, jest ciałem; ciałem jest też powietrze, w którem jesteśmy zanurzeni.

Ciała zajmują i wypełniają miejsce; powiadamy, że każde ciało ma pewną *objętość*. Góra np. ma pewną objętość i ziarnko piasku ma pewną objętość; tylko góra ma znacznie większą objętość. Wnętrze dzbana ma większą objętość niż szklanka; powiadamy, że dzban ma większą *pojemność* niż szklanka.

Weźmy duży arkusz papieru i niewielki klocek drewniany. Arkusz papieru ma mniejszą *objętość* niż klocek; jeśli włożymy po kolei jedno i drugie do dzbana pełnego wody, zobaczymy, że klocek wypycha znacznie więcej wody. Ale arkusz papieru ma znacznie większą *powierzchnię* niż klocek; istotnie, możemy klocek owinąć papierem i nie tylko raz, ale kilka razy. Dlaczego papier, pomimo znacznej powierzchni, ma nieznaczną objętość? Ponieważ papier ma grubość nieznaczną. Kawałek drutu, równie długi jak ołówek, będzie miał objętość mniejszą niż ołówek, ponieważ jest mniej gruby, czyli ponieważ ma mniejsze poprzeczne *przecięcie* ~~(powierzchnię przecięcia ołówka przedstawia nam niezatemperowany jego koniec)~~. Ale bardzo długi drut może mieć takąsamą objętość jak ołówek, jeśli mniejsze ~~swe~~ przecięcie wynagrodzi znacznie większą długością.



§ 2. Wymiary.

Pokój ma pewną wysokość, szerokość i długość; mówimy, że są to trzy wymiary pokoju. Podobnie piec, stół, szafa, skrzynia, pudełko, i każde wogóle ciało ma trzy wymiary. Ćwiartka papieru np., prócz szerokości i długości, musi mieć pewną grubość, inaczej zeszyt, złożony ze stu takich ćwiartek, nie miałby również grubości. Niema też tafelki lub blaszki, którataby nie miała pewnej, choćby bardzo nieznacznej, grubości.

Gdybyśmy mogli chodzić po ścianie pokoju, jak mucha, wówczas dzisiejsza szerokość pokoju wydawałaby nam się jego wysokością. Zatem trzy wymiary pokoju niczem się właściwie pomiędzy sobą nie różnią, i nazywamy je wysokością, długością, szerokością li tylko ze względu na nasze własne w tym pokoju położenie.

Są ciała, które mają wszędzie jednakową wysokość, długość, szerokość; takiemi są np. prostopadłościany (rys. Pp). Walec (rys. W) lub pryzmat (rys. Pr) ma wszędzie jednakową wysokość, ale nie ma wszędzie jednakowej szerokości i długości. Kula (rys. K)

kula (rys. 4) ma w każdem miejscu inną wysokość, inną szerokość i inną długość; ale ~~Ale kula ma~~ w każdem miejscu ~~pewną~~ ma ona jakąś określoną wysokość, szerokość i długość. Każde ciało ma, w każdem miejscu, trzy i tylko trzy wymiary.

§ 3. Powierzchnie i linie. Przedmiot Geometryi.

Czy sufit ma trzy wymiary? czy ma je podłoga, droga, ulica? Nie; ale sufit, podłoga, droga, ulica ~~to~~ nie są to rzeczy, ~~to~~ nie są to ciała; ~~są~~ to powierzchnie. Każde ciało ma powierzchnie, któremi jest ograniczone; np. deska ma powierzchnie. Lecz powierzchni tej nie można zdjąć z deski, gdyż najcieńsza nawet warstewka, skrajana z deski, ma pewną grubość i nie jest powierzchnią. Powierzchnia deski nie jest więc częścią deski, ale ~~jest~~ własnością deski; powierzchnie wogóle nie są ciałami, lecz własnościami ~~pewnych~~ ciał. Dla tego powierzchnie nie mają trzech wymiarów; ~~lecz~~ mają one ~~tylko~~ dwa wymiary.

Najcieńsza nić, lub włosek ledwie widzialny, ~~ma~~ musi mieć trzy wymiary. Lecz brzeg ćwiartki papieru ma tylko jeden wymiar, mianowicie długość. Albowiem brzeg ćwiartki papieru nie jest ciałem, lecz ~~jest~~ własnością ~~pewnego~~ ciała. Ogranicza on powierzchnię ćwiartki, tak samo jak powierzchnia deski ogranicza samą deskę. Taka granica powierzchni nazywa się linią.

W wielu razach obchodzą nas tylko wymiary i kształty pewnych ciał, inne zaś własności tych ciał są nam ~~w danej chwili~~ obojętne. Ile np. obicia potrzeba do wytapetowania ścian ~~pewnego~~ pokoju, nie zależy ~~bynajmniej od tego, jakiego~~ od barwy tego obicia; ile książek pomieści się na półce, nie zależy od rodzaju drewna, z którego półka jest wyrobiona. Geometrya jest nauką, w której zajmujemy się wymiarami i kształtami ciał, nie zważając na to czy owe ciała są wyrobione z drewna, z metalu czy ze szkła, czy są czerwone lub ~~czy~~ zielone, ciężkie czy lekkie i t. d.

§ 4. O mierzeniu.

Porównywaliśmy objętość góry z objętością ziarnka, pojemność dzbana z pojemnością szklanki, dalej powierzchnię papieru z powierzchnią klocka, długość drutu z długością ołówka. A zatem można porównywać objętość z objętością, powierzchnię z powierzchnią, długość z długością. Ale nie można porównywać powierzchni np. z długością, bo ilekolwiek razy wzięlibyśmy jaką długość, zawsze otrzymalibyśmy długość a nigdy powierzchnię. Taksamo nie można porównywać powierzchni z objętością, ani objętości z długością.

Przypuśćmy, że porównaliśmy pomiędzy sobą trzy długości, np. trzech prętów A, B, C. Przekonaliśmy się, że:

pręt A jest 3 razy dłuższy od pręta B;
pręt B jest 4 razy dłuższy od pręta C.

Lepiej wtedy obrać długość pręta C za jednostkę t. j. powiedzieć:

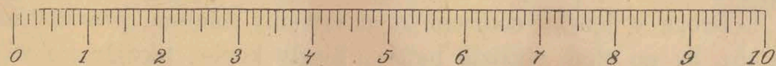
Długość pręta A = 12 razy długości pręta C;
Długość pręta B = 4 razy długości pręta C.

Gdyby wszyscy wiedzieli, jak długi jest pręt C, możnaby było powiedzieć poprostu:

Długość pręta A = 12.
Długość pręta B = 4.

§ 5. Jednostki metryczne

Taką właśnie długością, którą wszyscy znają, jest w wielu krajach *metr;* dlatego nazywamy metr *jednostką długości.* Wszelkie długości należy więc *porównywać* z metrem, czyli *mierzyć metrem.* Gdy powiemy: »pięć metrów« lub »półtora metra«, wszyscy będą wiedzieli, o jakiej długości mówimy, gdyż metr ma raz na zawsze prawem przepisaną ~~długość~~ i łatwo jest otrzymać jego kopię czyli odtworzenie. Metr *(m)* wynosi jedną czterdziesto-milionową część południka ziemskiego czyli koła, które, przechodząc przez oba bieguny, obejmuje całą kulę ziemską. *Decymetrem (dm)* nazywa się dziesiąta część metra; *centymetrem (cm)* setna część metra; *milimetrem (mm)* tysiączna część metra. *Kilometrem* nazywa się tysiąc metrów. Rys. 1. przedstawia decymetr, podzielony na centymetry i milimetry.



Rys. 1.

(w § 1-ym)

znów /, zaś

długości

jest

/ długości.

/ długość

H d

obwodu

(a cap.)

jeden

Stopa angielska (= 12 cali ang.) wynosi tyle, ile ~~jest równa~~ 30,48 cm.; mila (zwykła), ~~[illegible]~~ (niezupełnie jednakowo długa w rozmaitych krajach, wynosi około 7,5 kilometra; mila ~~[illegible]~~ t. zw. geograficzna wynosi 7,42 kilometra.

§ 6. Jednostki metryczne pola i objętości.

Podobnie jak długość można porównywać tylko z długością, rozległość powierzchni, czyli pole, można porównywać tylko z rozległością innej powierzchni, czyli z innem polem. ~~Gdy więc~~ Jednostką długości jest pewna, raz na zawsze obrana długość, mianowicie metr; jednostką pól musi być podobnie pewne raz na zawsze obrane pole. Metryczną jednostką pól jest metr kwadratowy (m^2) czyli pole kwadratu, którego boki mają po metrze długości. Decymetr kwadratowy jest podobnie kwadratem, którego boki mają po decymetrze długości i t. d. Kwadrat o boku, równym stu metrom, nazywa się hektarem; ~~Met~~ hektar zawiera zatem dziesięć tysięcy metrów kwadratowych.

Jednostką objętości musi być zupełnie podobnie ~~[illegible]~~ pewna raz na zawsze obrana objętość. Metryczną jednostką objętości jest metr sześcienny (m^3) czyli objętość sześcianu, którego krawędzie mają każda po metrze długości. Decymetr sześcienny, czyli krócej litr, jest to podobnie objętość sześcianu, którego krawędzie mają każda po decymetrze długości i t. d. Metr sześcienny zawiera zatem tysiąc litrów.

Miary metryczne zostały ustanowione we Francyi, w końcu XVIII-go stulecia, przez komisyą, złożoną ze słynnych uczonych; następnie zaś przyjęto je, jako nader dogodne, w wielu innych krajach i państwach.—

§ 7. Ruch.

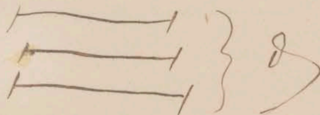
Jeśli ktoś stał na środku pokoju a później widzimy go koło drzwi, powiadamy, że ***zmienił miejsce*** w pokoju. Gdybyśmy byli ciągle nań zważali, bylibyśmy zobaczyli, jak przeszedł od środka pokoju do drzwi; bylibyśmy widzieli, jak się *poruszał*. Każda zmiana miejsca jest wynikiem *ruchu*. Co nie zmienia miejsca, to jest w spoczynku t. j. nie porusza się.

Gdy więc chodzi ktoś, biega lub skacze, jest w ruchu; a gdy siedzi lub leży, jest w spoczynku. Kamień, leżący na ziemi, jest w spoczynku. Gdy go podnosimy, jest w ruchu; jeśli go rzucimy, porusza się, dopóki znów nie upadnie na ziemię. Wóz toczy się po drodze; chmury przeciągają po niebie; koło w maszynie się kręci; huśtawka się kołysze, drzewa się chwieją; wszystko to są przykłady ruchu. W sadzawce woda jest zwykle w spoczynku; w strumieniu, w rzece, w wodotrysku — jest w ruchu.

~~Należy~~ Powinniśmy odróżniać ruch ciał, jako całości, od ruchu ich pojedynczych części. Gdy np. obraca się koło w maszynie, rozmaite punkty koła poruszają się, ale koło jako całość pozostaje w miejscu. Mówimy wówczas, że koło ~~ma~~ odbywa ~~wówczas~~ ruch obrotowy. Ruch ciała jako całości nazywamy ruchem postępowym; koło w maszynie nie ma więc ~~wcale~~ ruchu postępowego. Mówiąc o powozie, który toczy się po drodze, powiemy, że koła mają zarazem i ruch postępowy i ruch obrotowy, o pudle zaś powozu powiemy, że ma tylko ruch postępowy.

Każdy ruch odbywa się w jakimś *kierunku;* kamień np., puszczony swobodnie ale nie rzucony, biegnie prosto ku ziemi, czyli *spada*. Idąc prosto przed siebie, odbywamy ruch w kierunku ciągle jednakowym, gdy zaś obchodzimy coś dokoła, ruch nasz ma w każdej chwili coraz to inny kierunek. Ruch wzdłuż jakiejkolwiek linii, prostej czy krzywej, może odbywać się w dwu przeciwnych sobie kierunkach. Pociąg np., stojący na szynach, może poruszać się bądź naprzód, bądź wstecz. Szufladę można wysuwać i wsuwać. Statki i tratwy płyną po rzece z wodą i pod wodę.

Drogą w języku codziennym nazywamy miejsce, przeznaczone na to, by po niem chodzili ludzie, biegły konie, toczyły się wozy i powozy. Lecz niekiedy nadajemy inne znaczenie temu wyrazowi, gdy np. mówimy: »tędy wypada mi droga« lub »mam daleką drogę do odbycia«. W języku naukowym *drogą* nazywamy linię, po której odbywa się pewien ruch. ~~Kamień, spadając swobodnie, biegnie wprost na dół ku ziemi po drodze prostej *pionowej* t. j. w kierunku, jaki przybiera sznurek, na którym zawieszono ciężarek.~~ Kamień, uwiązany na sznurku i obracany około dłoni, porusza się po drodze kołowej. Poruszając szybko w ciemności zapałkę tlejącą, widzimy smugę ognistą, którą zapałka zostawia po sobie. Gwiazda spadająca daje ślad świetlny na niebie. Statek, płynąc po jeziorze, tworzy smugę na powierzchni wody. W tych razach ***widzimy drogę***, którą odbywała zapałka w powietrzu, gwiazda na niebie lub statek po wodzie. Kiedy piszemy kredą na tablicy, mamy drogę kredy po tablicy w postaci liter i wyrazów.



§ . Czas.

Czas ciągle upływa. Cokolwiekbądź czynimy: czy pracujemy, odpoczywamy, bawimy się, czy śpimy, czy o nim pamiętamy czy zapominamy, czy go używamy pożytecznie czy też go tracimy i marnotrawimy, czas ciągle upływa. Sekundy idą za sekundami, minuty za minutami, godziny za godzinami, dni następują po nocach i noce po dniach, mijają tygodnie, miesiące, lata i stulecia, ani się śpiesząc, ani się opóźniając.

Ciągły, jednostajny bieg czasu mierzymy ruchem wskazówek zegarów. Zegar zatem powinien iść jednostajnie. Ażeby się przekonać, ~~ile~~ czy zegar idzie jednostajnie, porównywamy go z innym sprawdzonym zegarem, np. z zegarem miejskim, z zegarem obserwatoryum astronomicznego. Ale najlepszym zegarem jest sama kula ziemska, na której mieszkamy. Wiemy istotnie, że ziemia obraca się dokoła swej osi; i jeden taki obrót nazywa się ~~[illegible]~~ dobą, czyli okresem czasu, wynoszącym 24 godziny, czyli 1440 minut, czyli 86400 sekund.

§ 9. Ruch wymaga czasu.

Żeby ujść kilometr po zwykłej drodze, trzeba mniej więcej kwadransa czasu, czyli 15 minut. Jadąc średnim kłusem końskim, przebywa się kilometr mniej więcej w 5 minut. Pociągowi pośpiesznemu na kolei żelaznej wystarcza na przebycie kilometra jedna minuta. Wystrzelona z działa kula przebiega kilometr w ciągu dwu sekund. Nakoniec ziemia nasza w drodze swej około słońca zużywa na przejście kilometra tylko $\frac{1}{30}$-tą część sekundy. Możnaby wystawić sobie, że jakieś ciało pędzi tak, iż przebywa kilometr w czasie jeszcze krótszym, np. w ciągu $\frac{1}{100}$-ej albo $\frac{1}{1000}$-ej części sekundy. Ale nie można pomyśleć, ażeby na przebycie kilometra wcale nie potrzebowało czasu; w tejsamej chwili ciało nie może być u początku i u końca tego kilometra. *Wszelki ruch wymaga czasu.*

Kiedy pieniądz wypadnie komu z ręki, wydaje się, jak gdyby w tejsamej chwili już był na ziemi; lecz tak nie jest. Nietrudno jest pochwycić spadający pieniądz w biegu; zanim więc dobiegnie on ziemi, mamy widocznie czas spostrzedz, co się dzieje i wprawić rękę w ruch, ażeby go pochwycić. Rzeczywiście, pieniądz, puszczony z odległości półtora metra od ziemi, dobiegnie jej dopiero po upływie przeszło pół sekundy.

§ 10. Prędkość.

Mówi się, że ktoś idzie *prędko*, jeżeli zużywa czas niedługi na przebycie pewnej drogi. Jeżeli kto inny tęsamą drogę przebywa w czasie dłuższym, powiadamy, że porusza się mniej prędko czyli z mniejszą *prędkością*. Zatem prędkość ruchu jest tem znaczniejsza, im krótszy jest czas, potrzebny do przebycia pewnej oznaczonej drogi. Kula ziemska, jak wiemy z § 9-go, biegnie prędzej niż pociąg pośpieszny; pociąg prędzej niż powóz; powóz jedzie prędzej, niż człowiek pieszo idzie.

Wypuśćmy jednocześnie ze stacyi pociąg pośpieszny i towarowy; po upływie godziny pociąg pośpieszny znacznie wyprzedzi towarowy, t. j. w czasie jednakowym odbędzie drogę dłuższą niż towarowy. Zatem, im prędkość ruchu jest większa, tem dłuższa jest droga, przebywana w jakimś oznaczonym czasie. Kto np. jest ścigany, biegnie jak może najprędzej, bo pragnie przebywać w jednakowym czasie drogę dłuższą, niż ścigająca go pogoń.

§ 11. Prędkość stała i zmienna.

Pociąg, stojąc na stacyi, nie ma wcale prędkości. Kiedy z niej wyrusza, jedzie coraz prędzej, nabiera coraz większej prędkości; tu ruch pociągu jest *przyśpieszony*. Rozpędziwszy się należycie, pociąg nie przyśpiesza ale też nie zwalnia biegu; porusza się więc z prędkością *stałą*, czyli porusza się ruchem ~~*jednostajnym*~~ jednostajnym. Nareszcie, zbliżając się do następnej stacyi, na której ma stanąć, pociąg zwalnia biegu, więc zmniejsza swą prędkość; tu znowu ruch będzie niejednostajny, ale będzie *zwolniony*. A zatem, po wyruszeniu z pierwszej stacyi prędkość ruchu pociągu jest zmienna, mianowicie zwiększa się; pomiędzy stacyami jest stała a w pobliżu drugiej stacyi znowu jest zmienna, a mianowicie zmniejsza się. —

Jeśli pociąg, zupełnie rozpędzony i biegnący jednostajnie, przebywa kilometr w ciągu minuty, przebędzie piętnaście kilometrów w ciągu kwadransa, a sześćdziesiąt kilometrów w ciągu godziny. Zatem, czy powiemy, że porusza się z prędkością kilometra na minutę, czy też, że z prędkością sześćdziesięciu kilometrów na godzinę, będzie wszystko jedno, jeśli ruch jest jednostajny, 1, wówczas bowiem prędkość jego jest stała. Zupełnie jest inaczej, jeśli ruch nie jest jednostajny. Np., gdy pociąg się rozpędza, nie jest wszystko jedno, czy zważamy drogę, przebytą w ciągu pierwszej minuty, czy drogę, przebytą w ciągu dziesiątej lub piętnastej minuty. W ciągu kwadransa pociąg przebywa wówczas oczywiście daleko dłuższą drogę, niż gdyby był się ciągle poruszał z prędkością, jaką miał w pierwszej minucie; wówczas bowiem prędkość ruchu zwiększa się co chwila.

Przypuśćmy, że pewien pociąg, wyruszywszy z Krakowa o godzinie ósmej zrana, przyjechał do Lwowa o 4tej popołudniu ~~wieczorem~~; przebył więc odległość pomiędzy Krakowem a Lwowem, czyli 344 kilometry, w ciągu 8-u godzin. Możemy powiedzieć, że pociąg ten poruszał się ze średnią prędkością 43-ch kilometrów na godzinę; ~~istotnie zajechałby on w tym samym dokładnie czasie, jakiego potrzebował istotnie, z Krakowa do Lwowa, gdyby był się ciągle posuwał ze stałą prędkością 43-ch kilometrów na godzinę, czyli 717 metrów lub 717 kilometra mniej więcej na minutę.~~ gdyby był się poruszał ze stałą prędkością 43-ch km na godzinę (czyli około 717 m na minutę) byłby przyjechał z Krakowa do Lwowa dokładnie w tym samym czasie, jaki zużył na tę podróż istotnie. ~~Lecz~~ Prawdziwa zaś ~~jej~~ prędkość pociągu bywała w ciągu podróży bardzo rozmaita, poczynając od prędkości żadnej podczas postoju na stacyach, aż do największej prędkości pomiędzy stacyami, gdzie pociąg musiał oczywiście przebywać więcej ~~będą prędzej~~, niż 717 metrów ~~kilometra~~ w ciągu ~~na~~ minuty. —

43	43000 : 60
8	10
344	40
	717

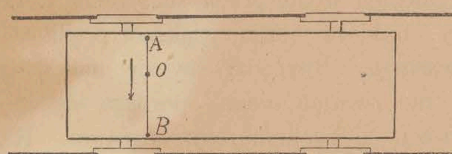
~~Zupełnie podobnie~~, Jak jednostką długości jest pewna długość, raz na zawsze obrana, np. 1 m lub 1 cm ~~1 metr albo centymetr~~, jak jednostką pól jest pewne pole, raz na zawsze obrane, np. hektar albo 1 cm^2, jak jednostką przeciągów ~~czasu~~ czasu jest pewien przeciąg czasu, raz na zawsze obrany, np. sekunda, ~~lub~~ minuta, doba — zupełnie podobnie jednostką prędkości jest ~~jest być~~ pewna prędkość, raz na zawsze obrana, np. prędkość: 1 cm. na sekundę.

§ 12. ~~§ 8.~~ Ruch, złożony z dwu ruchów.

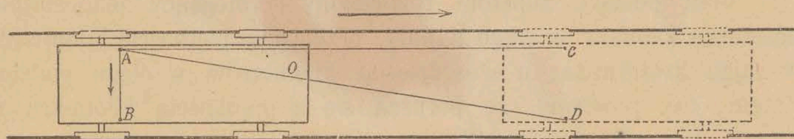
Można jednocześnie chodzić po pokoju i poruszać ręką. Ręka uczestniczy wówczas w ruchu całego ciała t. j. odbywa tensam ruch postępowy, jaki odbywa głowa i tułów; ale prócz tego odbywa swój ruch własny, zupełnie tak, jak gdybyśmy wcale nie szli naprzód, lecz stali w miejscu. Mówimy, że ręka *wykonywa jednocześnie dwa ruchy:* ruch postępowy całego ciała i ruch własny; lub też, że ręka wykonywa ruch, *złożony* z tych dwu ruchów.

Kiedy w wagonie, który toczy się po szynach, siedzimy nieruchomo, jesteśmy *w spoczynku względem wagonu.* Rzeczywiście, gdy wagon jest zamknięty, ściany jego i osoby, które w nim siedzą, wydają nam się nieruchome i, gdyby nie turkot i wstrząśnienia, moglibyśmy sądzić, że się wcale nie poruszamy. Wyjrzawszy przez okno, widzimy odrazu, że uczestniczymy w ogólnym postępowym ruchu wagonu; mianowicie widzimy, że względem ziemi, względem drzew, względem domów, *jesteśmy w ruchu.*

Przypuśćmy, że ktoś po wagonie chodzi wszerz, np. od okna do okna. Przypuśćmy, że rys. 2. przedstawia widok tego wagonu, widziany z góry, czyli innemi słowy widok wagonu, jak gdyby przeciętego płaszczyzną poziomą. Niechaj będzie O miejscem człowieka w wagonie. Jeśli wagon stoi wówczas w miejscu, wtedy drogą, po której ruch człowieka się odbywa, jest prosta $A\ B$. Ale jaką drogę odbywa człowiek, jeśli chodzi po



Rys. 2.



Rys. 3.

wagonie, biegnącym po szynach (rys. 3.)? Człowiek odbywa wówczas jednocześnie dwa ruchy: 1. chodzi po wagonie wszerz, jak chodziłby po nieruchomym wagonie; 2. posuwa się naprzód wraz z wagonem i ze wszystkiem, co wogóle znajduje się w wagonie. Dzięki pierwszemu ruchowi porusza się on w ciągu sekundy od A do B (rys. 3.); byłaby to jego droga, gdyby wagon stał w miejscu. Ale wagon w ciągu tej sekundy posuwa się naprzód o długość AC; a z nim razem cała droga AB jak gdyby posuwała się naprzód, również o długość AC. A zatem rzeczywistą drogą człowieka będzie linia AD. Istotnie, posuwając w myśli człowieka od A do B wzdłuż linii AB i jednocześnie posuwając całą linią AB naprzód wzdłuż linii AC, zobaczymy, że ostatecznie człowiek posuwa się wzdłuż linii AD.

Mówimy, że człowiek odbywa (tu) ruch (AD), złożony z dwu ruchów: AB i AC; moglibyśmy również powiedzieć przez skrócenie, że prędkość, wyobrażona przez AB (na sekundę) i prędkość, wyobrażona przez AC na sekundę, składają się na prędkość AD na sekundę. Zupełnie podobnie powiadamy ogólnie, że prędkości np. EF, EG (rys.), składają się na prędkość EH, wyobrażoną przez przekątnię równoległoboku EFHG. Zasada ta składania prędkości nazywa się też zasadą równoległoboku prędkości; prędkości EF, EG nazywają się składowemi, prędkość zaś EH nazywa się wypadkową. Spostrzegając uważnie, można przekonać się o słuszności zasady równoległoboku w mnóstwie przykładów codziennych.



Rys.

§ 13. ~~§ 9.~~ O sile.

Ciała same przez się nie poruszają się nigdy. Przedmioty w pokoju np. stoją nieruchomo, dopóki ich kto nie popchnie, nie potrąci, nie pociągnie. I nie tylko stoły i szafy stoją nieruchomo, które i nam trudno poruszyć, ale też takie przedmioty, które można wprawić w ruch z największą łatwością. Choćby się drzwi np. najlżej otwierały, nie otworzą się one same przez się. Lampa wisząca na sznurze, albo huśtawka, którą poruszyć tak łatwo, pozostawiona sobie, trwa w zupełnym spoczynku. Drzewa i liście na nich, kłosy zboża w polu, które chwieją się i kołyszą za lada podmuchem wiatru, stoją zupełnie nieruchomo w spokojnem powietrzu. Bez pobudzenia zatem, bez podniety z zewnątrz, ciała nie wychodzą ze spoczynku, nie poczynają się ruszać.

To też, gdy chcemy, żeby się jakie ciało poruszyło, dajemy mu do tego podnietę. Ciągniemy szufladę, żeby ją wysunąć; popychamy okno, ażeby je otworzyć. Poruszamy huśtawkę, ażeby ją rozkołysać; żeby koło wprawić w obrót, naprzemian ciągniemy ku sobie jego korbę i od siebie ją odpychamy. Ciągnienie, pchanie, naciskanie nazywa się w nauce *wywieraniem siły*. Człowiek wywiera siłę zapomocą *mięśni*. Ale nie tylko człowiek ma władzę wywierania *siły*. Kula tocząca się przewraca ~~w~~ kręglach słupki; woda płynąca rzeką porusza młyn wodny; wiatr wznosi kurz do góry, obraca wiatraki, niekiedy zrywa kapelusze z głów a nawet dachy z domów. Sprężyna nakręcona wprawia kółka zegarkowe w ruch, więc musi je popychać i pociągać podobnie, jak ręka ludzka popycha i pociąga korbę koła, które obraca. Rzeczywiście, jeśli skręcimy sprężynę ręką, albo taśmę kauczukową mocno w ręku wyciągniemy, uczujemy, że sprężyna uciska rękę, że taśma ją ciągnie, zupełnie jak gdyby ktoś ją uciskał lub ciągnął. Próbując młode drzewko zgiąć i pochylić ku ziemi, czujemy, że ono opiera się temu i ciśnie na naszą dłoń. Więc sprężyna skręcona, taśma wyciągnięta, drzewko przygięte wywierają siłę; siłę tę nazywamy *siłą sprężystości*.

kręgle

Powiadamy zatem: do wyprowadzenia jakiegobądź ciała ze spoczynku potrzeba jest działania *siły*.

§ 14. Przeciwdziałanie.

Ciągnąc szufladę, popychając drzwi lub okno, poruszając lampę lub huśtawkę, wprawiając koło w obrót, czujemy ~~[illegible]~~ jak gdyby *opór* szuflady, drzwi, okna, koła, lampy lub huśtawki. Widzimy zatem, że, gdy wywieramy pewną siłę, i na nas wywierana jest pewna siła przeciwna. ~~[illegible]~~ ~~[illegible]~~. Inaczej mówimy, że działanie nasze na ciała łączy się z *przeciwdziałaniem*, którego od tych ciał doznajemy. Każde wogóle działanie łączy się, w podobny sposób, z przeciwnem mu przeciwdziałaniem.

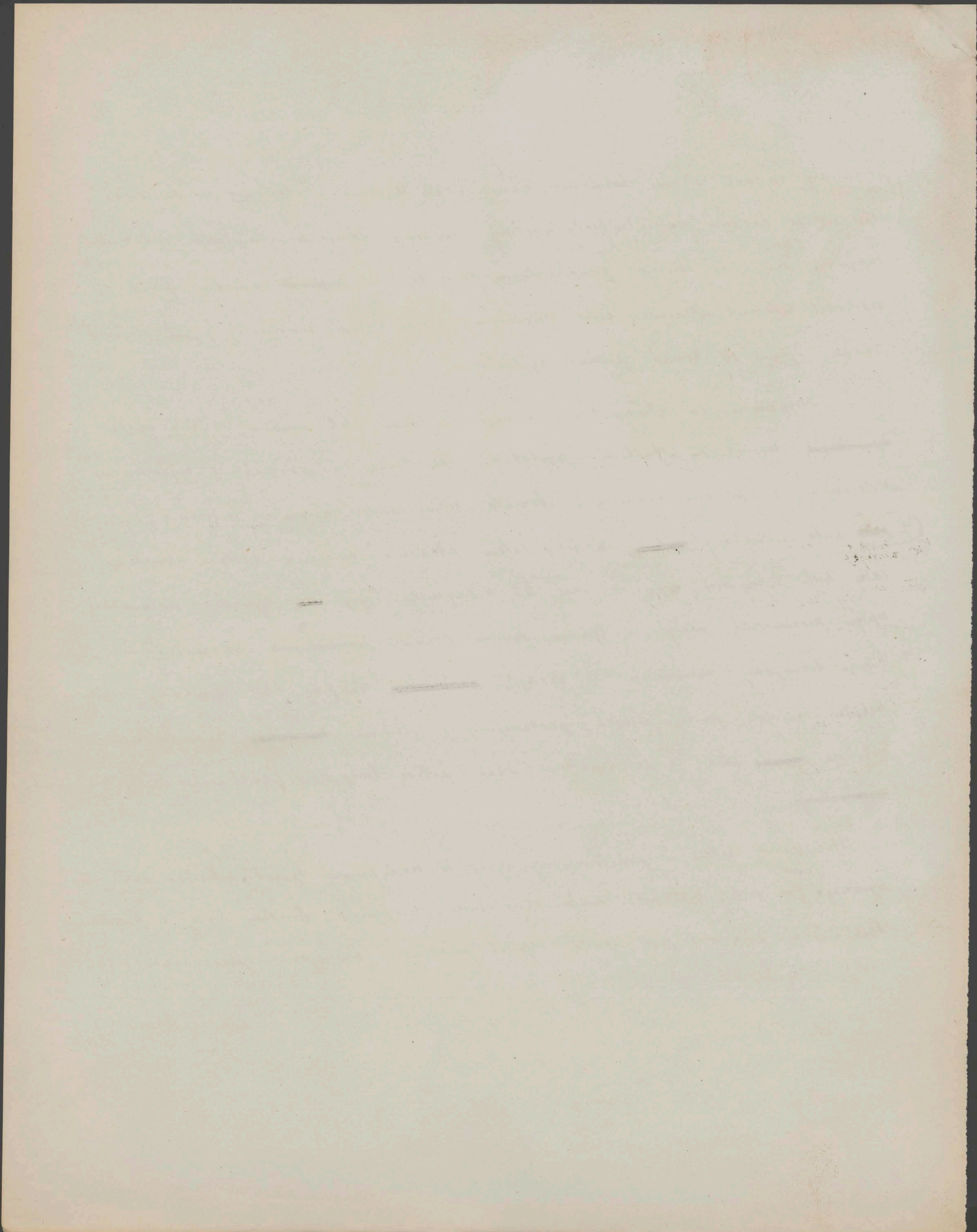
Przeciwdziałanie możemy wykazać wielu sposobami. Pomieściwszy się np. w huśtawce,

spróbujmy wyrzucić z niej kamienie, uprzednio tam złożone. Zobaczymy, że huśtawka cofa się za każdym rzutem. Kiedy więc my odpychamy kamienie, kamienie równocześnie odpychają nas, a za naszem pośrednictwem – huśtawkę. Z ~~zupełnie~~ podobnej przyczyny pochodzi wsteczne uderzenie, które otrzymujemy, dając strzał ze strzelby; ~~jak~~ również znane cofanie się armat podczas wystrzału.

Przypuśćmy, iż utwierdziliśmy armatę w ziemi tak mocno, że nie może ona ~~[illegible]~~ cofnąć się skutkiem wystrzału. Co stanie się wówczas z uderzeniem wstecznem, z przeciwdziałaniem? Armata utwierdzona stanowiła wówczas z ~~[illegible]~~ kulą ziemską ~~[illegible]~~ całość; zatem uderzenie wsteczne zostało udzielone całej kuli ziemskiej, i na ruch tak olbrzymiej bryły ~~[illegible]~~ wywarło naturalnie wpływ niezmiernie mały. Z takiego ~~[illegible]~~ powodu ~~[illegible]~~ przeciwdziałanie, którego doznajemy nieustannie od różnych ~~[illegible]~~ ciał (na które wywieramy działanie) uchodzi zazwyczaj naszej uwagi: przekazujemy je bowiem ~~[illegible]~~, za pośrednictwem własnego ~~[illegible]~~ ciała, za pośrednictwem ścian i podłóg budynków, zazwyczaj całej kuli ziemskiej ~~[illegible]~~.

Streszczamy zatem, co powiedzieliśmy wyżej, w sposób następujący. Każde dwa ciała wywierają zawsze na siebie działania ~~zawsze~~ obustronne, wzajemne; innemi słowy, z każdem działaniem połączone jest zawsze wprost przeciwnie skierowane przeciwdziałanie.

§ 15. —



§ 15. § 19. Równowaga.

Kiedy jakaś siła działa na ciało, wyprowadza je ze spoczynku i wprawia w ruch. Ale każdy ruch odbywa się w jakimś kierunku (§ 7.); zatem każda siła działa w jakimś kierunku, mianowicie w tym, w którym nadaje ruch. Np. Drzewko np. zgięte ciśnie w tym kierunku, w jakim powraca do swego zwykłego położenia, gdy je oswobodzimy od nacisku.

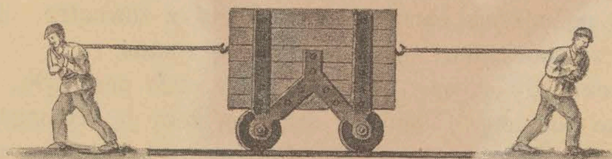
| jakiebądź

Wystawmy sobie, że na jakieś ciało działają jednocześnie *dwie siły jednakowe*, lecz mające wprost przeciwne kierunki. Przypuśćmy np., że jedna ciągnie jakieś ciało w prawo a druga w lewo. Ciało nie poruszy się ani w prawo ani w lewo i pozostanie w spoczynku. Mówimy wówczas, że *siły równoważą się;* mówimy, że ciało pod działaniem dwóch jednakowych lecz przeciwnych sobie sił pozostaje *w równowadze*. Jeśli np. dwaj ludzie jednakowo silni staną po dwu stronach wagonu i każdy pocznie ciągnąć

Wyobraźmy

dy

co do kierunku



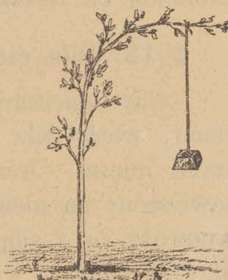
Rys. 4.

ku sobie (rys. 4.), wówczas wagon nie ruszy wcale z miejsca, jak gdyby go nikt nie ciągnął. Jeśli z jednej strony ciągnąć go będzie dwu ludzi, a z drugiej jeden człowiek, wagon pójdzie w stronę silniejszego ciągnienia; ale wtedy połowa wysiłku dwu ludzi pójdzie na zniweczenie siły trzeciego, który opiera im się z drugiej strony wagonu.

Należy to dobrze zrozumieć, iż równowaga dwu sił nie ma nic zgoła wspólnego z istnieniem (pomiędzy każdemi dwoma ciałami) wzajemnie dopełniających się sił, działania i przeciwdziałania, o których była mowa jak powiedziano w § 14ym. Równowagę mamy wtedy, kiedy dwie siły (sobie przeciwne) zostaną przyłożone do tego samego ciała, jak to np. na rys. ym [illegible] widzimy. Działanie zaś i przeciwdziałanie pomiędzy dwoma ciałami, jak o tem mówiliśmy w § 14ym, nie są [illegible] przyłożone do tego samego ciała, lecz przeciwnie do dwu różnych ciał, wzajemnie działających na siebie ciał, a zatem nie wytwarzają [illegible] wcale równowagi.

§ 16 ~~§ 15~~. Siła ciężkości.

Umocujmy w podłodze jeden koniec taśmy kauczukowej a drugi ciągnijmy ku sobie; taśma ciągnie naszą rękę ku dołowi. Weźmy duży kamień i trzymajmy go w dłoni; kamień ciągnie naszą rękę ku dołowi podobnie, jak ciągnęła ją taśma. Połóżmy kamień na materacu lub poduszce; kamień przyciska je podobnie, jak gdyby je kto ręką przyciskał. Zawieśmy kamień na drzewku wygiętem; drzewko nie wyprostuje się, jak gdyby je kto przytrzymywał ręką (rys. 5.). Jakaś siła musi więc działać na kamień, która sprawia, iż kamień przyciska i ciągnie. Nazywamy tę siłę *siłą ciężkości*.

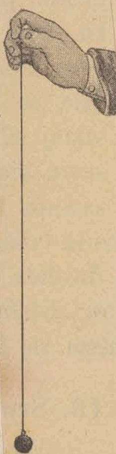


Rys. 5.

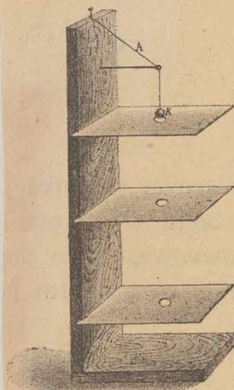
(rys.)

Trzymajmy kamień w ręku; siła ciężkości działa nań ciągle, ale *równoważymy ją* (§ 14.) siłą naszych mięśni. Otwórzmy rękę; wówczas siła ciężkości sama jedna działa na kamień. Kamień zaczyna się poruszać. Dokąd pójdzie? Nie będziemy go szukali na ścianach, ani na suficie; wiemy, że pójdzie na dół, że będzie *spadał* (§ 7.). Zatem siła ciężkości ciągnie ciała na dół ku ziemi i nadaje im ruch w tym kierunku, jeśli żadna inna siła jej w tem nie przeszkadza.

Rozważmy to dokładniej. Weźmy *pion*, czyli nić obciążoną ciężarkiem i trzymajmy ją w ręku, jak pokazuje rys. 6. Nić wypręża się i przybiera kierunek linii prostej, którą nazywamy *linią pionową*. Powiadamy, że każdy przedmiot, puszczony zupełnie swobodnie (a zatem poddany działaniu samej tylko siły ciężkości) / spada na dół w kierunku pionowym. Trudno jest wypuścić ~~coś~~ z ręki zupełnie swobodnie, nie popchnąć przytem w żadnym bocznym kierunku. Urządźmy więc następujące doświadczenie. Wycinamy otwory w kilku kawałkach tektury (rys. 7.) takie, ażeby mogła przejść przez nie kulka *K* pionu. Jeśli pion, wisząc swobodnie, będzie przechodził przez środki otworów, wówczas będą one przypadały pionowo jeden pod drugim; musimy przedewszystkiem tak ustawić kawałki tektury. Wciągamy teraz kulkę ponad otwór najwyższy, umocowujemy część nitki w poło-



Rys. 6.



Rys. 7.

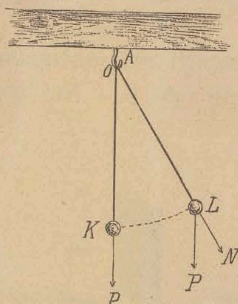
/ ij
H jakiś bądź przedmiot
+ go

żeniu pochyłem i tę część przepalamy, dotykając w *A* płomieniem; wtedy kulka spada bez bocznego popchnięcia. Zobaczymy, że przejdzie przez wszystkie otwory. *Siła ciężkości ma więc kierunek pionowy ku ziemi.* Kierunek (zaś) pionowy w jakiembądź miejscu na powierzchni ziemi jest to, ~~[illegible]~~, prawie zupełnie dokładnie kierunek promienia ziemskiego w tem miejscu, t. j. linii, łączącej uważany punkt na powierzchni ~~kuli~~ Ziemi ~~[illegible]~~ z jej środkiem.

§ ~~16~~ 18. Siła ciężkości w równowadze z innemi siłami.

Gdy zgięliśmy drzewko ręką i trzymamy je nachylone do ziemi, wtedy siła sprężystości drzewka równoważy się z siłą naszych mięśni. Jeżeli drzewko w tem położeniu utrzymuje ciężar, zawieszony na niem (rys. 5.), wtedy siła sprężystości drzewka równoważy się z siłą ciężkości.

W pionie, wiszącym spokojnie (rys. 6.), nitka wypręża się prosto [i pionowo] pod działaniem siły ciężkości. Tu ciężkość kulki pionu równoważy się ~~mocą i wytrzymałością nitki~~ [za pośrednictwem nitki z siłą naszych mięśni]; pod działaniem bardzo znacznego ciężaru nitka się urywa, podobnie jak urywa się w ręku pod bardzo mocnem ciągnieniem. Drut metalowy ma większą wytrzymałość niż nitka. Drut taki, np. *OK* (rys. 8.), zakończony kulką i zawieszony na haku *A*, zachowuje się podobnie jak pion. Wisi on spokojnie w położeniu pionowem *OK*, w każdem zaś innem położeniu, np. *OL*, zaczyna opadać ku *OK*. Przyczyna tego jest następująca. Drut może się obracać na haku a zatem [drut sam przez się] będzie w równowadze tylko pod działaniem takiej siły, którąby go ciągnęła w jego własnym kierunku. ~~Bez ciężkość, która działa zawsze na dół pionowo, przypada w jego własnym kierunku jedynie tylko w położeniu OK.~~ Gdyby np. w położeniu *OL* ciężkość [kulki] działała w kierunku *LN*, mielibyśmy [i tam] równowagę; ale ciężkość działa tam w kierunku *LP*, [a nie w kierunku *LN*,] więc równowagi niema, drut porusza się ku położeniu *OK*. Natomast w położeniu (drutu) pionowem) <u>OK</u> ciężkość kulki, jako skierowana zawsze na dół pionowo, przypada we własnym kierunku drutu; dlatego w tem położeniu i tylko w tem położeniu ~~jest~~ ~~może~~ ~~być~~ jest równowaga. Przyrząd taki nazywa się <u>wahadłem</u>.



Rys. 8.

§ 18. Składanie sił.

Wiemy (§ 14), że siła, która działa na jakiekolwiek ciało, wprawia je w ruch i zatem nadaje mu pewną prędkość, jeśli inna siła jej w tem nie przeszkadza. Przypuśćmy np., że mamy metalową kulkę M, położoną na stole kamiennym poziomym; rys. przedstawia stół i kulkę widzianą z góry. Przypuśćmy, że siła A, jeśliby sama jedna została przyłożona do kulki M, udzieliłaby jej prędkości MN w ciągu sekundy; dalej, że druga siła B, gdyby również sama jedna została przyłożona do kulki, udzieliłaby jej prędkości MR w ciągu sekundy. Jeśli obie siły (A i B) działają spółcześnie, kulka otrzyma spółcześnie obie prędkości MN i MR; wiemy z § 12-go, że uzyska wówczas prędkość MP w ciągu sekundy, gdzie MP jest przekątną równoległoboku MRPN. Tej wypadkowej prędkości MP mogłaby udzielić kulce, przypuśćmy, pewna siła C, gdyby została przyłożona sama jedna do kulki. Nazywamy wówczas siłę C (wypadkową siłą), siły zaś A i B składowemi siłami. Siły składowe składają się zatem na wypadkową, która może je całkowicie zastąpić. Widzimy, że siły, przyłożone do kulki, składają się według zasady równoległoboku, podobnie jak prędkości (których one udzielają), składają się według tej zasady (§ 12). Albowiem, im siła większa, tem większa też prędkość, którą ona nada; jeśli więc linia MN jest np. 3 razy dłuższa od linii AM, to i MR jest 3 razy dłuższa od linii BM i MP musi być 3 razy dłuższa od linii CM, zkąd wynika, że CM jest przekątną równoległoboku AMBC.

Rys.

~~Na rys. wyobrażony jest przyrząd, który pozwala łatwo sprawdzić zasadę równoległoboku sił i okazać jej słuszność. Ciężarek A składa się np. z czterech równych krążków, ciężarek B z trzech, ciężarek C z pięciu takichże samych krążków; siła ciężkości działa na A i na B prosto nadół, lecz~~

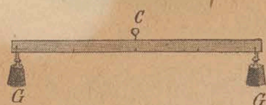
~~budowa przyrządu sprawia, że działanie tej siły na A i B, czyli ciężary A i B przenoszą się na punkt M jako ~~ciągnienia~~ i działają w kierunkach Ma, Mb. Z temi ciągnieniami równoważy się ciężkość, działająca na C, ~~czyli ciężar~~ [illegible]. Ustawiwszy ramiona Ma, Mb tak, ażeby była równowaga, przekonamy się, że długość Mc zawiera wówczas przy takich podziałek, jakich jest cztery na długości Ma i trzy na Mb. Podobnie sprawdzimy zasadę równoległoboku w razie innego stosunku ciężarów i w innem ustawieniu ramion.~~

(Korzystając z zasady równoległoboku sił, widzimy,

Powróćmy teraz do ~~drutu z kulką~~ wahadła w położeniu OL (§ 16, rys.)

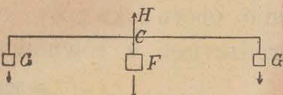
~~że~~ że możemy zastąpić siłę ciężkości LP przez dwie siły: LN i LT, których LP byłaby wypadkową; innemi słowy, że możemy rozłożyć, jak się mówi, siłę LP na siły LN i LT. Siły ~~te naturalnie~~ LN i LT nie istnieją rzeczywiście; posługujemy się niemi tylko dla ułatwienia rozumowania. Z pomiędzy tych ~~[illegible]~~ sił, LN równoważy się, za pośrednictwem drutu, ~~[illegible]~~ z siłami, które ~~utrzymują~~ hak i belkę utrzymują w równowadze; pozostaje siła LT, która też wahadło ~~[illegible] [illegible]~~ ~~kulkę~~ w położeniu OL (wprowadza w ruch). W położeniu OK (rys.) siła LP jest tem samem, czem ~~jak~~ siła LN, a siły LT niema wcale; dlatego też w położeniu OK jest równowaga (§ 16). ~~Jak~~ (Działanie siły LN) (Możemy wykazać) zastąpiwszy drut przez nitkę; ~~[illegible]~~ w ciągu ruchu ~~[illegible]~~ wahadła nitka ~~[illegible]~~ pozostaje wówczas ciągle wyprężona. ~~Jeśli więc~~ Weźmy wahadło w położeniu OL w rękę lub podeprzyjmy kulkę np. cegłą; jakim sposobem ~~[illegible]~~ utrzymuje się wówczas równowaga? Siłą naszej ręki lub oporem cegły ~~[illegible]~~ równoważymy wówczas składową LT; pozostaje składowa LN, lecz ta działa w kierunku drutu lub nitki i ~~[illegible]~~ nie ma ~~[illegible]~~ dążności do wprawiania wahadła w ruch. ~~[illegible]~~

§ 19 ~~§ 18~~. **Środek ciężkości.**



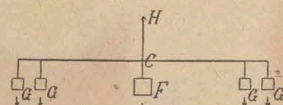
Rys. 9.

Weźmy drążek drewniany (rys. 9.), wkręćmy w jego środku kółeczko C a na końcach uwiążmy jednakowe ciężarki G, G. Zawieśmy kółeczko na nitce lub na haczyku. Ująwszy nitkę lub haczyk, możemy trzymać drążek w równowadze t. j. tak, żeby się nie przechylał ani w jedną, ani w drugą stronę; możemy nawet, nie psując równowagi, podnosić drążek ku górze. A zatem dwa równe ciężary, działające na końce drążka, równoważą się tutaj z siłą naszych mięśni, działającą na środek drążka. Dzięki drążkowi równoważymy lub podnosimy oba ciężary G, G tak, jak gdybyśmy bezpośrednio do nich przyłożyli naszą siłę. Możnaby odwrotnie zastąpić te dwa ciężary G, G przez jeden dwa razy większy ciężar F, wiszący w pośrodku C drążka (rys. 10.); wówczas potrzeba znów takiejsamej siły H, jak poprzednio, ażeby zrównoważyć drążek lub podnieść go do góry.

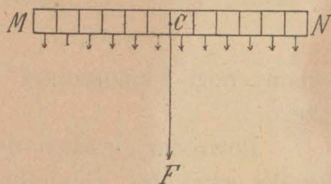


Rys. 10.

Podobnież, cztery ciężary G, G, G, G, jak na rys. 11., możnaby zastąpić przez jeden, cztery razy większy ciężar F, wiszący w pośrodku. Siły zatem czyli ciężary G składają się tutaj na siłę F, która się też nazywa ich *wypadkową* i która je może zastąpić. Podobnież będzie w sztabie MN (rys. 12.); możemy wystawić sobie, że składa się ona z osobnych części, z których każda ma swój ciężar; wszystkie te ciężary składają się na ciężar wypadkowy F, działający w punkcie C. Ów punkt C, w którym jak gdyby skupia się cały ciężar ciała, nazywa się *środkiem ciężkości*. Siła ciężkości działa na każde ciało tak, jak gdyby była przyłożona do jego środka ciężkości.

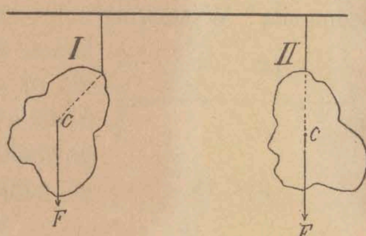


Rys. 11.



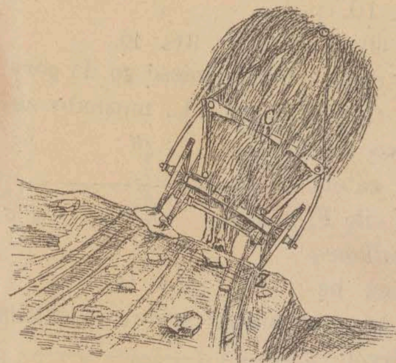
Rys. 12.

Można np. trzymać sztabę MN (i podobnież każdą laskę np.) w położeniu poziomem w równowadze, podpierając ją jednym palcem w punkcie C, czyli w jej środku ciężkości. Jeśli ciało wisi na sznurku (rys. 13.), nie może ono być w równowadze, gdy środek ciężkości nie znajduje się wprost pod nicią, w jej bezpośredniem przedłużeniu. W położeniu więc I ciało nie będzie w równowadze, podobnie jak drut z kulką nie był w równowadze w położeniu OL (rys. 8.). Przeciwnie, w położeniu II ciało będzie w równowadze.



Rys. 13.

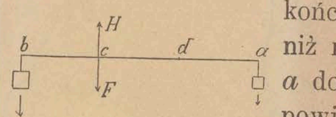
Powiedzieliśmy, że cały ciężar ciała jest jak gdyby skupiony w (jego) środku ciężkości i działa nań na dół pionowo. Zatem: jeżeli linia pionowa, poprowadzona ze środka ciężkości, trafia w podstawę ciała, wtedy ciało *stoi* czyli jest w równowadze. Jeśli zaś ta linia trafia poza obrębem podstawy, ciało przewraca się, bo ciężar jego nie znajduje oporu, któryby go równoważył. Tak więc wóz na równej drodze jest w równowadze, lecz na pochyłości linia, wychodząca pionowo na dół ze środka ciężkości, zbliża się ku kołom. Na rys. 14. widzimy położenie, w którem przechodzi ona właśnie przez koło *(CZ)*: jeszcze najmniejsze pochylenie a wóz musi się wywrócić. Dlaczego trudno jest postawić kij na stole; dlaczego pochylamy się na lewo lub wyciągamy lewą rękę, gdy niesiemy ciężar w prawej; dlaczego, żeby mocno i pewnie stanąć, rozstawiamy nogi jaknajszerzej — łatwo wytłumaczyć na mocy powyższego.



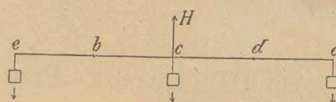
Rys. 14.

§ 19. Zasada dźwigni.

Powróćmy jeszcze do drążka, o którym była mowa na początku (poprzedzającego) artykułu. Gdybyśmy uwiązali na jednym jego końcu ciężar dwa razy większy, niż na drugim, drążek, zawieszony w pośrodku, nie byłby już w równowadze; mocniej obciążony koniec przeważyłby t. j. przechyliłby się ku dołowi. W jakiem miejscu trzebaby było wkręcić teraz kółeczko, żeby znowu zrównoważyć oba ciężary jedną siłą? Wystawmy sobie (rys. 15.) drążek, obciążony na jednym końcu *(b)* ciężarem dwa razy większym, niż na drugim *(a)*. Podzielmy odległość od *a* do *b* na trzy równe części: *bc, cd, da;* powiadamy, że trzeba przyłożyć siłę *H* w punkcie *c*, żeby zrównoważyć nią oba ciężary, wiszące w *a* i *b*. Istotnie: przypuśćmy na chwilę, że drążek nasz jest dłuższy, niż wprzódy, mianowicie (rys. 16.) dłuższy o długość *be*, równą każdemu z trzech odstępów *bc, cd, da*. Zamiast podwójnego ciężaru, wiszącego w punkcie *b*, mogłyby wówczas wisieć dwa poje-



Rys. 15.

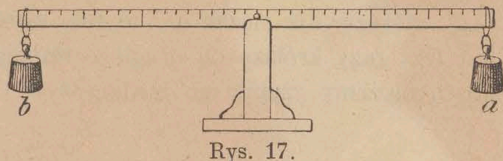


Rys. 16.

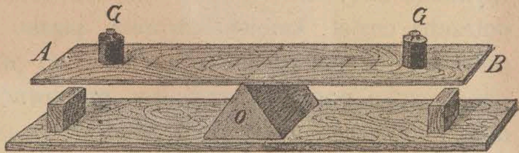
dyncze ciężary w *c* i w *e*, albowiem, jak wiemy, dwa równe ciężary można zastąpić przez jeden, podwójny, wiszący pomiędzy niemi w pośrodku. Przyłożywszy teraz siłę *H* do punktu *c*, równoważymy nią najprzód ciężar w *c* a powtóre także ciężary w *a* i w *e*, ponieważ te dwa ostatnie są równe i wiszą jednakowo daleko od *c*. Zatem ten drążek będzie w równowadze, a temsamem i poprzedni (rys. 15.) będzie w równowadze, gdy przyłożymy siłę *H* w punkcie *c*. Powiadamy jak wprzódy: pewien ciężar *A* i dwa razy większy ciężar *B* składają się na siłę wypadkową *F;* ta wypadkowa działa na punkt, który leży dwa razy dalej od *A* niż od *B*. Tak więc w ciele, składającem się z części niejednakowo ciężkich, środek ciężkości musi przypadać stosunkowo dalej od lżejszych, a bliżej cięższych części. Jeśli laska ma ciężką gałkę, trzeba podpierać ją palcem bliżej gałki, a nie w środku, żeby utrzymać równowagę w położeniu poziomem.

§ 19. Dźwignia.

Jak w § 18., weźmy drążek drewniany (rys. 17.), na końcach uwiążmy dwa jednakowe ciężarki *a*, *b;* lecz zamiast zawieszać go na nitce, utwierdźmy w nim w środku oś i tą osią połóżmy go na podstawce. Oba ciężary, działające na końce drążka, równoważą się teraz z oporem podstawki, który działa na jego środek; drążek będzie więc w równowadze, taksamo jak poprzednio w § 18. Nazywamy podobny przyrząd ***dźwignią,*** a części jego od osi aż do punktu zawieszenia ciężaru — ***ramionami dźwigni.*** Zatem dźwignia, przedstawiona na rys. 17., jest równoramienna. Inną dźwignię widzimy na rys. 18.; składa się ona z deseczki, położonej na trójkątnej podstawce *O*. I ona będzie w równowadze, gdy jednakowe ciężarki *G*, *G* stać na niej będą w jednakowej odległości od podstawki. Powiadamy zatem: *potrzeba do ró-*



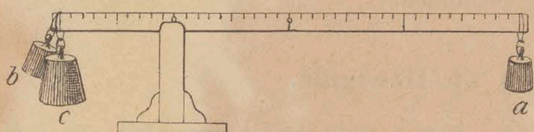
Rys. 17.



Rys. 18.

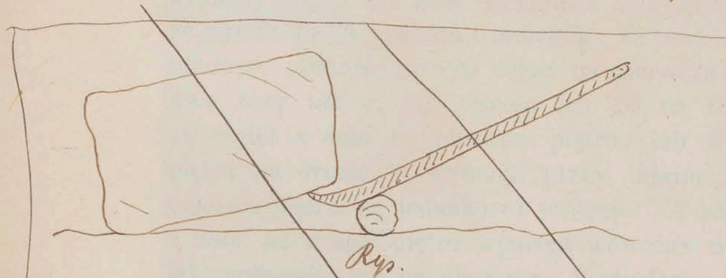
wnowagi dźwigni równoramiennej, ażeby ciężary jednakowe działały w odległości jednakowej od osi obrotu, t. j. żeby działały na *ramiona jednakowe.*

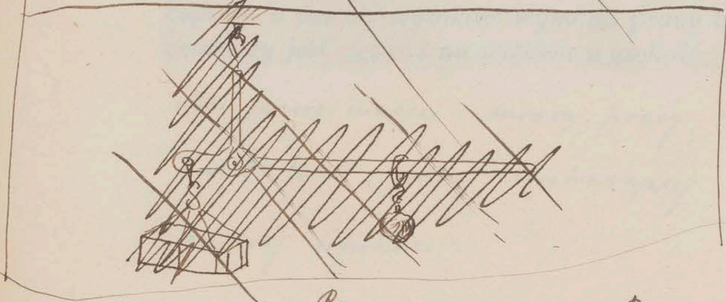
Zawieśmy teraz na dźwigni rys. 17., lub połóżmy na dźwigni rys. 18. ciężary niejednakowe w odległości jednakowej od osi; równowagi nie będzie. Czego więc potrzeba do równowagi, gdy ciężary są niejednakowe? Możemy to wywnioskować z tego, co powiedzieliśmy przy końcu § 18. Weźmy np. jakiś ciężar i inny ciężar, dwa razy większy. Z rys. 15. widzimy, że do równowagi dźwigni, na którą działają takie dwa ciężary, potrzeba, ażeby podstawka (czyli oś obrotu) była umieszczona dwa razy bliżej większego ciężaru, innemi słowy, potrzeba, *ażeby ciężar dwa razy większy działał na ramię dwa razy krótsze.* Gdyby jeden ciężar był trzy razy większy od drugiego, musiałby podobnież dla równowagi działać na ramię trzy razy krótsze. Widzimy taką ~~równowagę~~ dźwignię na rys. 19.; *a* i *b* są to ciężarki jednakowe, *c* zaś waży tyle, ile *a* i *b* razem wzięte. A zatem ciężar *b* i *c* razem wzięty jest trzy razy większy niż ciężar *a;* to też ramię tego potrójnego ciężaru jest trzy razy krótsze od drugiego ramienia. Podobne doświadczenia łatwo możemy czynić na dźwigni rys. 18.

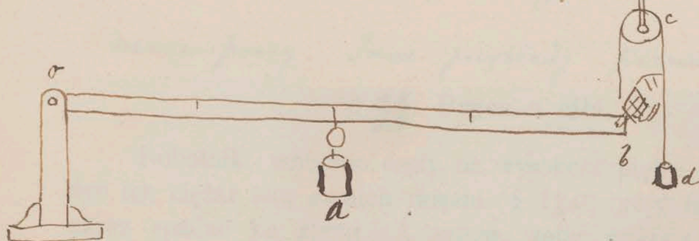


Rys. 19.

Mnóstwo przedmiotów codziennego użytku, mnóstwo narzędzi i przyrządów, używanych w rękodziełach, przemyśle i rolnictwie, ~~przedstawia~~ stanowi zastosowania dźwigni. Drąg np., służący do wyważania ciężarów ~~(rys.)~~, jest dźwignią; ramię czyli rękojeść studni, klamka drzwi, różne rodzaje nożyc, obcęgi, rączka czyli górka (a nawet łopata) krajcarka, stanowią przykłady dźwigni. Belka każdej wagi ~~(zob. §)~~, jakoteż i t. zw. przezmian ~~(rys.)~~ jest również przykładem dźwigni.







Rysunek ... wyobraża inny rodzaj dźwigni, t. zw. jednoramienną. Jeśli odległość oa (od osi do miejsca zawieszenia ciężaru) wynosi, jak na rysunku, połowę odległości ob (od osi do miejsca przyłożenia siły), (wówczas potrzeba) do równowagi ażeby na b działała siła dwa razy mniejsza od siły ciężkości działającej w a. Możemy to udowodnić, przymocowawszy w b nitkę, przerzuconą przez bloczek c i obciążoną ciężarkiem d; potrzeba będzie wówczas do równowagi, ażeby a był dwa razy cięższy od d. Jeśliby

odległość oa była jedną trzecią częścią odległości ob, do równowagi byłoby potrzeba, ażeby ciężar[a] był trzy razy cięższy od d i t. d. Przykłady dźwigni jednoramiennej widzimy w taczkach, w maszynach, służących do krajania papieru lub chleba, do wycinania i wybijania otworów, w narzędziach) do zgniatania (~~np.~~ korków, cytryn, orzechów) i t. d. (służących

§ ~~15.~~ 20. O pracy.

Gdy murarze budują dom, wówczas jedni wnoszą cegły, kamienie, wapno i t. d. na wysokość ~~tego~~ piętra, jakie jest w robocie; inni zapomocą lin wyciągają na tę wysokość belki. Taka czynność ~~nazywamy~~ wykonywaniem *pracy.* Do zbudowania domu potrzeba cegieł, kamieni, wapna, piasku, drzewa i t. d., ale nadto potrzeba też *pracy,* potrzeba znacznej pracy; jeden człowiek np., bez niczyjej pomocy, musiałby pracować wiele lat, zanimby cały dom zbudował. Żeby dom zbudować, potrzeba wykonać pewną, określoną pracę; trzeba np. wnieść tyle a tyle cegieł na pierwsze piętro, tyle a tyle na drugie i t. d.; w żaden sposób bez pracy tego dokonać nie można. Żeby zbudować dom trzypiętrowy, trzeba większej pracy, niż żeby zbudować dwupiętrowy. Widzimy zatem, że *praca* bywa większa i mniejsza; że praca jest czemś, co można mierzyć. Wnieść np. 20 cegieł na pierwsze piętro wymaga pracy dwa razy takiej, jak wnieść ich 10 na tosamo piętro. Wnieść 10 cegieł z dołu na pierwsze piętro, lub wnieść je z pierwszego piętra na drugie — wymaga pracy tejsamej, jeżeli, przypuśćmy, obadwa piętra są jednakowo wysokie. A zatem wniesienie cegieł z dołu na drugie piętro wymaga wówczas dwa razy takiej pracy, jak wniesienie ich na pierwsze. Powiadamy ogólnie: ***podniesienie ciężaru o pewną wysokość wymaga pracy tem większej, im znaczniejszy jest ciężar i im większa wysokość, o jaką go podnosimy.***

Hdy

T jest przykładem Ц-a

Albo jeszcze inaczej: miarą pracy, wykonywanej przy podnoszeniu ciężarów jest iloczyn dwóch liczb, jednej wyobrażającej ~~ciężar~~ natężenie ciężaru, ~~a~~ drugiej, która jest miarą przebytej wysokości.

Podnoszenie ciężarów jest naturalnie ~~tylko~~ (tylko jednym) z pomiędzy (mnóstwa codziennych) przykładów wykonywania pracy. Inne przykłady poznamy niebawem.

§ 21. Praca a siła.

Robotnik, wnosząc cegły na wysokość piętra, musi równoważyć ich ciężar siłą swoich mięśni (§ 11.), gdyż inaczej zacząłby zaraz spadać ku ziemi. A zatem, żeby wykonać *pracę,* trzeba mieć *siłę*; ale można mieć siłę a nie wykonywać pracy. ~~Naprzykład,~~

~~Gdy zawiesimy ciężar na drzewku, jak to przedstawia rys. (§ 11.) (i gdy) ciężar spada i ugina drzewko coraz bardziej, wówczas wykonywa on pracę. Gdy zaś ciężkość zrównoważyła się ze sprężystością drzewka i ciężar, zatrzymawszy się, wisi spokojnie (jak to przedstawia rys.), wówczas wywiera on siłę ale~~

Naprzykład, siła ciężkości, gdy wyprężyła pion, nie przestaje działać, ale nie wykonywa pracy. Ciężar, zawieszony na drzewku, gdy zgiął je i wisi spokojnie, wywiera siłę ale nie dostarcza pracy. Gdy usiłujemy podnieść z ziemi ciężar tak znaczny, że nie możemy ruszyć go z miejsca, wywieramy wówczas siłę, ale nie wykonamy pracy, dopóki nie ruszymy ciężaru. Wogóle, powiadamy, że ~~siła~~ wykonywamy pracę wtedy, gdy wprawiamy w ruch ciało, na które ~~jest~~ wywieramy siłę.

Przypuśćmy, że powiedzieliśmy: iż, dla ~~wykonania~~ osiągnięcia pewnego skutku (np. dla podniesienia cegły o metr) ~~,~~ należy wykonać pewną pracę. To znaczy, że dla osiągnięcia tego skutku trzeba (tę ilość pracy ~~co~~ conajmniej) wykonać. Nieraz, chcąc go osiągnąć, wydamy pracy więcej; ale nadwyżkę pracy wydamy niepotrzebnie, gdyż obróci się ona zawsze na coś innego, na jakiś skutek uboczny, nie zaś na cel nasz właściwy. Na podniesienie np. cegły o metr trzeba conajmniej wykonać pewną określoną pracę; ale tylko tę ilość trzeba wykonać koniecznie; i tylko tą koniecznie potrzebną zajmujemy się w Nauce Fizyki.

Pamiętając o tem, zważmy np. ile pracy potrzeba, ażeby utrzymywać kamień lub cegłę w położeniu nieruchomem. Powiadamy: na to nie potrzeba pracy wcale, można to osiągnąć bez żadnego wydatku pracy, zapomocą pierwszego lepszego stołu, lub sznurka. Gdy zaś trzymamy ciężar nieruchomo w ręku, łożymy pewien wysiłek, ~~i łożymy~~ i odczuwamy zmęczenie; ale łożymy go niepotrzebnie; ~~i~~ obraca się on też nie na ~~zmiany w położeniu~~ podniesienie ciężaru, ależ na ~~pewne~~ zmiany w naszych mięśniach, które właśnie odczuwamy jako znużenie. ~~Zmęczenie~~ Znużenie jest innym skutkiem ubocznym, na który idzie cały nasz wysiłek; ~~skutek~~ cel właściwy, ~~a~~ nieruchome trzymanie ciężaru, nie wymagał wcale wykonywania pracy.

(22 b)

Przypuśćmy, że dwóch robotników (np. *A* i *B*) wnosi cegły na wysokość piętra; *A* i *B* mają każdy np. po 100 cegieł do wniesienia. Mają więc jednakową pracę do wykonania; ale *A* jest w stanie dźwignąć odrazu 20 cegieł, gdy *B* tylko 10 może dźwignąć odrazu. Wówczas *A*, żeby swoją pracę wykonać, wejdzie 5 razy na piętro, gdy tymczasem *B*, ażeby swoją wykonać, będzie musiał wejść 10 razy. Przypuśćmy, że piętro ma wysokości 4 metry; w takim razie *A*, licząc wprost w górę, odbędzie ogółem drogę 20 metrów, *B* zaś — drogę 40 metrów. A więc *siła, dwa razy mniejsza, ale pracująca przez drogę dwa razy dłuższą, wykonywa pracę tęsamą.* Zupełnie podobnie siła, trzy, ~~[illegible]~~ cztery lub ilekolwiek razy ~~[illegible]~~ słabsza, pracując na drodze tyleż razy dłuższej, wykonywa pracę tęsamą. Wszystko to wynika, jak łatwo widzimy, z określenia podanego w końcu § . . . . dla miary pracy.

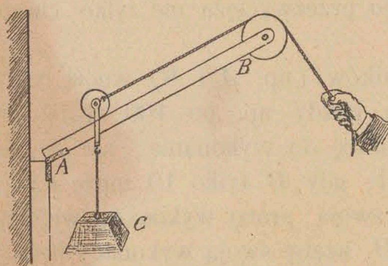
(str. 23)

§ 22. O energii.

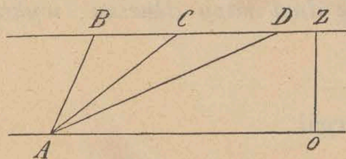
Robotnik, który bierze 10 cegieł na siebie za każdym razem, gdy wchodzi na piętro, mógłby zapewne udźwignąć 12, gdyby się nieco wysilił, a nawet może 15 i więcej. Ale, podczas gdy mógł, biorąc po 10 cegieł, pójść z niemi do góry np. trzydzieści razy z rzędu, teraz, obarczony 15 cegłami odrazu, zmęczy się znacznie wcześniej. A zatem człowiek może wywrzeć chwilowo siłę większą lub mniejszą, ale pracę może wykonać tylko ograniczoną. W każdym z nas jest jakby pewien zasób pracy, z którego możemy czerpać, jakby pewien *zapas pracy*, który możemy wydawać; gdy wszystek wydamy, nie jesteśmy zdolni do dalszego wykonywania pracy, aż nowy zasób w nas się nagromadzi. Taki zasób pracy, gotowej do wydania, nazywamy *energią*. Gdy ktoś pracuje, wydaje swoją energią, wydaje ją na wykonywanie pracy; jeśli ~~próżnuje~~ nie pracuje, wtedy przechowywa, co prawda, zasób swój nienaruszony, nie wydaje swojej energii, ale nie ma też z niej żadnego pożytku. Energia jest jakby bogactwem, z którego wydatkiem jest praca.

§ ~~18.~~ 23. Praca przeciwko ciężkości.

Siła ciężkości działa w kierunku pionowym ku dołowi ~~(§ 11.)~~ a zatem sprzeciwia się podnoszeniu się ciał prosto do góry t. j. ruchowi ich pionowemu do góry. Dlatego też trzeba wykonywać pracę, ażeby podnosić ciała do góry. Spróbujmy teraz podnosić jakieś ciało nie wprost do góry, lecz w kierunku pochyłym. Ciężar C np. możemy (rys. 20.) przesuwać po pochyłym drążku AB za pośrednictwem sznurka i dwóch kółek, z których jedno toczy się po drążku a drugie, osadzone na końcu, kręci się swobodnie. Ustawmy drążek prawie zupełnie pionowo; ciągnienie będzie wymagało znacznego wysiłku. Nachylajmy drążek ku poziomemu położeniu; ciągnienie będzie wymagało coraz mniejszego wysiłku; siła ciężkości coraz mniej będzie się opierała ruchowi. Ruchowi poziomemu siła ciężkości nie sprzeciwia się wcale. Lecz, im drążek jest bardziej nachylony do poziomu, tem dłuższą drogę musi odbyć ciężar, ażeby się podnieść o pewną wysokość. Przypuśćmy np., że AO na rys. 21. wyobraża poziom podłogi w pokoju, a $BCDZ$ —

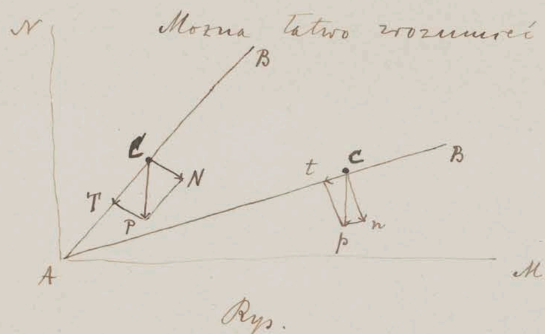


Rys. 20.



Rys. 21.

poziom sufitu. Im znaczniejsze nachylenie drogi (AB, AC, AD), tem mniejszy jest opór siły ciężkości, ale tem dłuższa jest droga do przebycia. Że jednak praca zależy zarazem od siły, jaka pracuje, i od długości drogi, przez którą pracuje, przeto praca potrzebna do podniesienia ciężaru, nie zależy od nachylenia drogi, lecz tylko od wysokości istotnego podniesienia. Istotnem podniesieniem jest (tutaj np.) wysokość OZ dla wszystkich trzech dróg AB, AC, AD.



Rys.

Można łatwo zrozumieć, dlaczego ciągnienie ciężaru C (rys.) wymaga coraz mniejszego wysiłku, w miarę tego, jak drążek AB zbliża się bardziej ku poziomemu położeniu. Niechaj C (rys.) będzie punktem przyłożenia siły ciężkości, którą wyobraża CP. Według zasady równoległoboku (§) rozłóżmy siłę CP na dwie składowe, jedną CN, prostopadłą do drogi AB, drugą CT działającą w kierunku od B ku A. Widzimy, że tylko składowa CT opiera się bezpośrednio ruchowi ciężaru po drodze od A do B, albowiem CN znosi się z oporem drążka (i przyciska tylko do niego punkt C). Otóż ~~ta~~ składowa CT, jak widzimy z rysunku, zależy od nachylenia; im bliżej do położenia poziomego, tem ta składowa wypada mniejsza. Np. ct jest mniejsza niż CT na rysunku. Dlatego też zmniejsza się opór ciężkości. W położeniu poziomem AM składowa CT znikłaby zupełnie; w położeniu pionowem AN byłaby równa, przeciwnie, całemu ciężarowi CP.

Na mocy tego, co tu powiedzieliśmy, rozumiemy pożytek t. zw. równi pochyłej, czyli płaszczyzny nachylonej do poziomu, którą posługują się często robotnicy do wciągania ciężarów w górę lub, przeciwnie, do powolnego spuszczania ich ku dołowi. Widzimy, że równia pochyła pozwala przezwyciężać ciężkość ciężarów siłą znacznie mniejszą, niż ta, jaka byłaby potrzebna do bezpośredniego, swobodnego ich podnoszenia. Ale zato droga do przebycia staje się odpowiednio dłuższa; tak że ostatecznie, jak widzieliśmy, równia pochyła nie daje żadnej oszczędności w pracy, jaką musimy wykonać dla podniesienia ciała o pewną wysokość; przeciwnie, z powodu nieuchronnego tarcia (zob. § 24) równia pochyła zużywa nawet nieco więcej pracy niż bezpośrednie podniesienie jej wymaga.

Wchodząc na stromą górę, ułatwiamy sobie trud wznoszenia się, idąc zygzakowatemi drogami wprawo i wlewo a nie wprost do góry; postępujemy wówczas według powyższej zasady równi pochyłej. Każda drabina jest również przykładem stosowania tejsamej zasady.

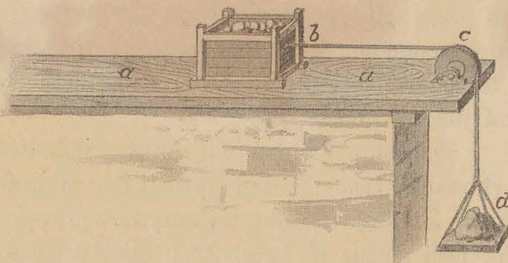
§ ~~22~~ 24. Tarcie.

~~Jeśli~~ [siła ciężkości nie sprzeciwia się poziomemu ruchowi V [Powiedzieliśmy, iż] V; czemuż tedy tak trudno posunąć kamień po ziemi lub skrzynię po podłodze? Oto z powodu *tarcia* kamienia o ziemię, z powodu tarcia skrzyni o podłogę, nie z powodu ciężaru kamienia lub ciężaru skrzyni. Na całkiem inny opór natrafiamy, jeśli chcemy wóz *podnieść*, niż jeśli chcemy go *ciągnąć*. W pierwszym razie mamy do czynienia z ciężarem wozu, w drugim razie z tarciem kół o ziemię i osi o panewki. Co innego więc tarcie a co innego ciężar. Kamień doznaje znacznego tarcia o sukno a znacznie mniejszego o szkło lub lód, tymczasem ciężar kamienia jest oczywiście zawsze takisam, czy kamień leży na suknie, czy na szkle, czy na lodzie.

Pokonywanie oporu, wynikającego z tarcia, wymaga pracy, podobnie jak jej wymaga przezwyciężanie siły ciężkości.

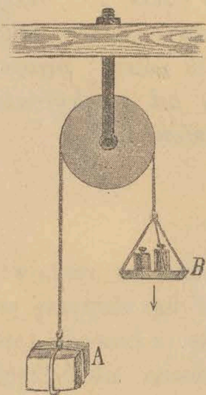
§ ~~26~~ 25. Praca siły ciężkości, praca siły sprężystości.

Kiedy człowiek wykonywa pracę, np. podnosi ciężar lub przezwycięża tarcie, możemy powiedzieć, że pracę tę wykonywa siła jego mięśni. Jak siła mięśni człowieka może wykonywać pracę, podobnież każda inna siła może ją wykonywać. Naprzykład siła ciężkości może pracować. Jeżeli np. ciężar *d*, opadając (rys. 22.),



Rys. 22.

za pośrednictwem sznura, przerzuconego przez kółko czyli *bloczek c*, ciągnie skrzynkę *b* po stole *(aa)*, wtedy siła ciężkości będzie wykonywała pracę, która wychodzi na pokonanie tarcia. Jeżeli, jak na rys. 23., ciężar większy *B*, opadając, podnosi do góry ciężar mniejszy *A*, wtedy siła ciężkości, działająca na *B*, dostarcza pracy, potrzebnej do pokonania ciężkości ciała *A* a nadto jeszcze i tej pracy dostarcza, jaką zużywa tarcie sznurka o blok i osi bloka o panewkę, w której się kręci.



Rys. 23.

Podobnie siła sprężystości może wykonywać pracę. Gdy np. zgięte drzewko się wyprostowywa, może podnieść jakiś ciężar do góry lub przezwyciężyć jakieś tarcie; tosamo może uczynić skręcona sprężyna, gdy się rozkręca. W zegarku kieszonkowym siła sprężystości dostarcza pracy, potrzebnej do pokonywania tarcia kółek i osi, w zegarze zaś ściennym czyni to siła ciężkości.

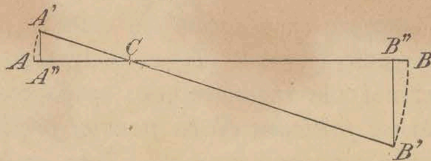
§ 26. Energia skręconej sprężyny, energia podniesionego kamienia.

Sprężyna skręcona jest każdej chwili gotowa do wykonania pracy; lecz żeby ją wykonać, musi się rozkręcać. Gdy całkowicie się rozkręci, dalej już nie może dostarczać pracy. Zegarek nakręcony idzie przez pewien przeciąg czasu; później zatrzymuje się, bo sprężyna, która go poruszała, jest rozkręcona. A zatem skręcona sprężyna posiada jak gdyby pewien *zasób* pracy, gotowej do wydania; gdy go wyda wszystek, przestaje być zdolna do wykonywania pracy. Ten zasób pracy nazywamy *energią* skręconej sprężyny, podobnie jak energią człowieka nazywaliśmy (§ 11.) zasób pracy, do której człowiek niezmęczony jest zdolny. Powiadamy, że skręcona sprężyna *ma pewną energię*; gdy pracuje, wydatkuje z tej energii; a gdy ją wyda całą, jest wyczerpana, dalszej pracy dać już nie może.

Podobnie kamień lub inny jakikolwiek ciężar jest gotów do wykonania pracy, jeżeli może zejść jeszcze niżej, niż się w danej chwili znajduje; ażeby wykonywać pracę, kamień musi się obniżać. Np. jeśli ciężar *d* (rys. 22.) obniży się aż do podłogi, nie będzie mógł dalej pracy dostarczać na pokonywanie tarcia. A zatem kamień podniesiony posiada pewien zasób pracy, gotowej do wydania, który też nazywamy *energią* kamienia. Kamień, który już nie może zejść niżej, wydał energię, jaką posiadał, podobnie jak rozkręcona sprężyna ją wydała ją sprężyna rozkręcona.

§ 27. Praca nie tworzy się z niczego.

Różnymi sposobami możemy podnieść ciężar do góry. Możemy go podnosić wprost ręką, albo ciągnąć wzdłuż pochyłego drążka (§ 17.); możemy go ciągnąć za pośrednictwem sznura i bloka (§ 20.), podnosić zapomocą dźwigni (§ 19.) i wielu innymi jeszcze sposobami. Jakimkolwiek sposobem będziemy ciężar podnosili, samo podniesienie pewnego ciężaru o pewną wysokość zużyje pewną, określoną ilość pracy i *ani mniej, ani więcej*. W pewnych razach może odbywać się, oprócz podnoszenia, coś innego, co wymaga pracy dodatkowej, np. tarcie; z takiej dodatkowej pracy możemy coś oszczędzić, ale z właściwej pracy samego podnoszenia niepodobna nic żadnym sposobem oszczędzić. Podnosząc ciężar, nie możemy wykonać mniej pracy i nie możemy wykonać jej w tym celu więcej, bo praca dodatkowa zostanie zawsze zużyta na coś innego, nie na samo podnoszenie. Naprzykład, jeśli oś bloka jest niewysmarowana, podnoszenie ciężaru będzie kosztowało wiele pracy; ale nadmiar pracy naszej nie pójdzie na podnoszenie ciężaru, lecz na pokonanie znacznego tarcia. Ale, jak wiadomo (§ 21.), określoną jakąś pracę może wykonać siła mniejsza i większa. Więc może sprawić jakiś przyrząd, żeby siła mniejsza wykonywała taką pracę, do jakiej bez niego byłaby potrzebna siła większa. Ale *czego żaden przyrząd sprawić nie może, to stworzyć choćby najmniejszą ilość pracy.* Żaden przyrząd nie wykona więcej pracy, niż mu jej dostarczymy. Oto co to znaczy. Na dźwigni można zrównoważyć (§ 14.) duży ciężar małym ciężarem. Niechaj będzie *ACB* (rys. 24.) dźwignią, *C* osią obrotu i niechaj $BC = 3$ razy *AC*. W takim razie ciężar, wiszący w *A*, można zrównoważyć w *B* ciężarem trzy razy mniejszym; dodając jeszcze w *B* choćby najmniejszy ciężarek, można *A przeważyć* t. j. podnieść ciężar *A* do góry. *Małą więc siłą można, zapomocą dźwigni, pokonać znaczną siłę.* Ale jeśli ciężar *A* jest trzy razy większy od *B*, mu-



Rys. 24.

simy go zawiesić trzy razy bliżej osi obrotu. Zatem poruszenie się dźwigni podniosłoby A o wysokość trzy razy mniejszą, niż wysokość, o którą obniżyłoby B. Tak np. podniesienie się $A'A''$ jest trzecią częścią obniżenia się $B''B'$. Gdy zaś praca, zużywana w podnoszeniu (lub dostarczana nam w obniżaniu się ciężaru) zależy nie tylko od wielkości ciężaru, ale i od wysokości przebytej (~~§ 15., § 18~~), przeto widzimy, że dźwignia na podnoszenie A wydaje tyle pracy, ile jej dostarcza obniżanie się B. Dźwignia więc *nie daje żadnej oszczędności w pracy;* z powodu tarcia osi o panewkę musimy nawet w dźwignię włożyć nieco więcej pracy, niż ona nam zwróci.)

Lecz, w takim razie, w jakim celu posługujemy się dźwignią? jaki osiągamy przez nią pożytek? Na to odpowiadamy jak następuje.

Praca może być nietylko większa lub mniejsza, co do ilości; może być także rozmaita co do swego rodzaju, co do jakości. (Np. Robotnik) wniesie bez trudności 10 cegieł na wysokość, dajmy, 12-tu metrów; ale nie jest w stanie podnieść odrazu 120 cegieł o wysokość jednego metra. Ilość pracy jest w obu razach tasama, ale rodzaj pracy nie jest jednakowy. W pierwszym razie praca jest skutkiem działalności siły nieznacznej na drodze długiej, w drugim razie jest skutkiem działalności siły stosunkowo znacznej na drodze bardzo krótkiej. Otóż często mamy pewne źródło pracy, mamy pewną ilość pracy, którą możemy rozporządzać; ale ta ilość jest dana w postaci, która nie jest nam przydatna. Przypuśćmy np., że posiadamy ciężar B, który może obniżyć się o trzy centymetry (rys.); jest to źródło możliwej pracy; ale postać tej pracy jest niestosowna, jeśli idzie o to, ażeby podnieść do góry ciężar A, 3 razy znaczniejszy niż B, o jeden centymetr. Dźwignia, jak to widzieliśmy, zamienia niedogodną postać pracy, jaką rozporządzamy, na postać dogodną, której potrzebujemy. Usługę tę opłacamy drobną stratą pracy, która idzie na przezwyciężenie tarcia. Taki jest użytek dźwigni; taki jest użytek wszelkich maszyn. Nie wytwarzają one pracy, nie zwiększają ilości pracy, jaką mamy do rozporządzenia; nie mogą więc sprawić, abyśmy mogli na tej ilości coś zyskać; przeciwnie zmuszają nas one do pewnej (zazwyczaj stosunkowo nieznacznej) straty pracy, idącej na przezwyciężenie tarcia i oporów;

28

31

ale za to maszyny zamieniają niedogodne postaci pracy na bardziej dogodne.

§ 28. Praca nie ginie.

Żeby skręcić sprężynę, trzeba wykonać pracę; ale też zato sprężyna, skoro jest skręcona, ma energią (§ 26.), czyli sama teraz może wykonać pracę. A zatem praca, którą wydaliśmy na skręcenie, nie zginęła, nie jest stracona; sprężyna skręcona może ~~nam~~ każdej chwili ją zwrócić. Podobnież, żeby podnieść kamień, trzeba wykonać pracę; ale praca ta nie zginęła, gdyż kamień podniesiony ma energią, więc może ~~nam~~ zwrócić pracę, którą wydaliśmy na podniesienie.

Przypuśćmy, że podnieśliśmy kamień o pewną wysokość i że następnie puściliśmy go swobodnie; kamień spada na dół ku ziemi. Na cóż została tu zużyta praca, którą wydaliśmy dla podniesienia kamienia? Została ona zużyta na przyśpieszenie ruchu ku ziemi. Zdjąwszy np. *nieco* ciężarków z szalki *B* na bloku (rys. 23.), sprawimy, że ciężar *A* pocznie powoli opadać; jeśli nagle wszystko z *B* zdejmiemy, *A* odrazu na dół poleci. Tu zatem praca, której dostarcza opuszczanie się ciała *A*, zużywała się najprzód na pokonywanie ciężkości *B*, a kiedy tego oporu zabrakło, obróciła się na wzmożenie ruchu samego spadającego ciała. Stąd widzimy, że *nadanie jakiemu ciału pewnej prędkości jest także pracą*, wymaga także wykonania pracy. Żeby *rzucić* kamień w górę, trzeba wykonać pracę taksamo, jak żeby go w górę *wciągnąć* lub podnieść; tylko, gdy się go rzuca, wykonywa się pracę odrazu, gdy się go wciąga lub podnosi, wykonywa się ją powoli, stopniowo.

Widzimy dalej, że kamień, gdy został rzucony, nabył przez to pewnej *energii*. Kamień rzucony może coś naprzykład przewrócić, złamać lub potłuc; kula wystrzelona może przebić ścianę; tymczasem kamień lub kula, które leżą na ziemi, nie mogą uczynić nic podobnego. Młotek samym swoim ciężarem nie wciśnie gwoździa do deski; trzeba *uderzyć* młotkiem, żeby pokonać opór deski. Mówimy nieraz o *zamachu* lub *rozmachu* ciała, które się porusza; chcemy przez to powiedzieć, że ma ono wówczas energią. *Ciało, które się porusza, posiada pewną energią dzięki temu ruchowi.* A zatem też *praca*, jaką musimy wykonać, ażeby ten ruch ciału nadać, *nie ginie*, nie jest stracona; ciało poruszające się może ~~nam~~ ją zwrócić, bo posiada energią, energią ruchu.

§ 24. Bezwładność.

Pojmujemy teraz, dlaczego ciała same przez się nie przechodzą nigdy ze spoczynku w ruch (§ 9.). Albowiem, gdy ciało się porusza, ma energią ruchu, a tej energii nie może ~~sobie~~ samo przez się wytworzyć; do wytworzenia energii potrzeba bowiem pracy a więc działania siły jakiejś z zewnątrz. Dalej, jeżeli ciało już jest w ruchu, a więc już posiada pewną energią ruchu, wówczas nie może samo przez się tej energii powiększyć a zatem nie może samo przez się począć odrazu poruszać się prędzej. Do tego potrzeba pracy, a więc działania siły zewnętrznej.

Jak samo przez się ciało nie może zwiększyć swej energii, tak też samo przez się nie może jej *zmniejszyć*. Ciało tylko wtedy traci na energii, kiedy wykonywa pracę, więc kiedy przezwycięża opór jakiejś siły zewnętrznej. ~~A zatem~~ *poruszające się ciało odbywa ruch swój bez zmiany, dopóki mu w tem żadna obca siła nie przeszkodzi. I podobnież spoczywające ciało zachowuje spoczynek swój bez zmiany, dopóki go do ruchu żadna obca siła nie zmusi.* Takie zachowywanie się ciał nazywamy ich *bezwładnością*.

Przykłady bezwładności spotykamy codziennie. Wyskakując z biegnącego powozu, czujemy, że nasze ciało dąży do zachowania ruchu. Gdy stoimy w biegnącym wagonie a pociąg nagle zwalnia, stopy nasze, oparte o podłogę, zwalniają swój bieg, ale reszta ciała przez bezwładność pochyla się naprzód. Wprost przeciwnie, jeśli stoimy w wagonie nieruchomym, a pociąg nagle ruszy, przechylamy się ~~w tył~~ przez bezwładność. Z podobnego powodu gmachy i budynki pękają i rozpadają się naskutek trzęsienia ziemi; fundamenty poruszają się nagle, reszta zaś budowli trwa przez bezwładność w swym poprzednim spoczynku. Korzystamy z bezwładności, gdy strząsamy z drzewa dojrzałe owoce; przez bezwładność długi kij drewniany łamie nam się w ręku, gdy, trzymając za jeden koniec, próbujemy nagle wywijać nim bardzo prędko. Jeżeli, znajdując się w wagonie, upuściliśmy pieniądz na podłogę, wówczas spadnie on do stóp naszych, bez względu na to, czy wagon biegnie, czy jest zatrzymany. To dowodzi, że moneta nawet i wtedy, kiedy spada przez powietrze (kiedy przeto nic jej nie ciągnie ani nie popycha), zachowuje ruch, jaki miała, zanim została puszczona (por. § 8.). Płynąc czółnem, wyrzućmy piłkę pionowo do góry; nie wpadnie ona do wody poza czółnem, lecz wróci do rąk naszych. A zatem piłka podczas swej drogi w powietrzu zachowuje ruch, jaki miała, zanim została wyrzucona do góry, t. j. ruch czółna.

Jeżeli wózek, popchnięty po drodze, zatrzymuje się, jeżeli rozkołysana huśtawka się uspakaja, jeżeli koło na osi, wprawione w obrót, powoli przestaje się kręcić, dzieje się to wszystko nie dlatego, ażeby te ciała nie miały bezwładności, lecz dlatego, że w swym ruchu muszą przezwyciężać tarcie (§ 19.), a do tego potrzebna jest praca, która też bierze się z energii poruszającego się ciała. To też po gładkiej posadzce kula toczy się dłużej, niż po suknie; po lodzie wózek potoczy się dalej, niż po ziemi. Rozpędzony wagon biegnie długo sam przez się po szynach; łyżwiarz sunie daleko po lodzie mocą samej bezwładności.

13

H)

sobie

Każde

H wstecz

12

a mianowicie, zachowuje go zarówno co do prędkości, jak co do kierunku.

co do prędkości i co do kierunku

// 24

Rzućmy kamień pionowo do góry; wiemy, że spadnie on w tosamo miejsce, z którego go wyrzucamy. Zastanówmy się nad tem. Wiemy, że cała kula ziemska obraca się dokoła swej osi; a zatem to miejsce na ziemi, w którem się znajdujemy, musi odbyć w ciągu 24 godzin drogę kołową, której promieniem jest odległość tego miejsca od osi obrotu. ~~W ciągu doby~~ Droga ta kołowa jest oczywiście ogromna

30 a

33

w pobliżu równika a tem mniejsza, im bliżej do bieguna ziemi; w naszych stronach jest tak znaczna, że każde miejsce na ziemi przebiega u nas około 300 metrów w ciągu sekundy naskutek codziennego obrotu ziemi dokoła jej osi. ~~W~~ Zatem, gdyby nie bezwładność, kamień, rzucony pionowo do góry, znalazłby się za powrotem na ziemię bardzo daleko od miejsca, z którego został rzucony. Naprzykład, jeśli wznoszenie się do góry i spadanie napowrót kamienia ~~x~~ trwało 5 sekund czasu, wówczas kamień znalazłby się o półtora kilometra od miejsca, z którego został rzucony, gdyby nie bezwładność. ~~[illegible]~~ Mianowicie, przez cały czas wznoszenia się do góry i opadania napowrót,

kamień zachowywał (co do prędkości i co do kierunku) ruch, jaki miał przed wyrzuceniem, t. j. ruch, wynikający z obrotu ziemi; (tylko dlatego powrócił w tożsamo miejsce, z którego został rzucony.

Widzimy z powyższych przykładów, że ciała przez bezwładność zachowują ruch swój bez zmiany i co do prędkości i co do kierunku, dopóki im w tem nie przeszkodzi działanie sił obcych.

Znając zasadę bezwładności, oraz zasadę wzajemnego działania pomiędzy ciałami (§ 13) łatwo zrozumiemy, co dzieje się w t. zw. procy. (Uwiązawszy kamień na sznurku, bierzemy drugi koniec sznurka w rękę i obracamy kamień dokoła ręki. Kamień obiega wówczas po kole, którego promieniem, OA na rys. , jest sznurek. W każdem miejscu swej drogi, kamień przez bezwładność dąży do poruszania się prosto przed siebie w takim kierunku, w jakim w tej chwili biegnie; więc w miejscu A np., dąży do poruszania się w kierunku (t. zw. stycznym) AT. Ażeby utrzymywać kamień ciągle na drodze kołowej, która zakrzywia się ciągle dokoła środka O, trzeba wywierać pewną siłę na kamień; wywieramy ją zazwyczaj za pośrednictwem sznurka. Lecz wszelkie wywieranie siły jest połączone z przeciwdziałaniem, czyli z wywieraniem się siły przeciwnej, według § 13.; więc powiadamy: kamień również ciągnie naszą rękę za pośrednictwem sznurka. Te dwa działania, ręki na kamień i kamienia na rękę noszą nazwę: odśrodkowego i dośrodkowego. Przypuśćmy, że sznurek nagle pęka; co stanie się z kamieniem? Obadwa działania, odśrodkowe

i dośrodkowe, znikną jednocześnie; obadwa zostaną zniweczone w chwili zerwania się sznurka. Pozostanie jedynie bezwładność; więc kamień pobiegnie w kierunku stycznym do drogi, np. w miejscu A, w kierunku AT.

Istnienie odśrodkowego działania w ruchu obrotowym możemy wykazać następującem doświadczeniem. Do szklanki, uwiązanej na sznurku, wkładamy monetę i obracamy szklankę dokoła ręki, podobnie, jak kamień w procy. Podczas obrotu zdarza się ciągle, że szklanka bywa zwrócona do góry dnem; pomimo to moneta z niej nie wypadnie. Zastosowania odśrodkowego działania spotykamy często w różnych machinach i przyrządach. Na tej zasadzie polega np. działanie wirówek, czyli centryfug, używanych w cukrownictwie oraz w mleczarstwie; podobnie jak działanie regulatorów odśrodkowych, jakie widzimy na lokomotywach i innych maszynach parowych (zob. §) Na osi AB (rys.), która się obraca, umocowane są dwie kule M, N, mogące zniżać się i podnosić dzięki zawiaskom m, n. Jeżeli oś AB obraca się zbyt prędko, kule podnoszą się do góry pod wpływem działania odśrodkowego; a mianowicie pod wpływem składowych tych działań, prostopadłych do prętów Mm, Nn, t.j. pod wpływem sił MK, NQ. Podnosząc się, kule działają na pierścień R i na mechanizm z nim połączony, który wówczas wpływa na zmniejszenie się prędkości obrotu. Działanie tego przyrządu można okazać na każdym nawpół roztwartym parasolu.—

A
m n
X
M
N
Q
R
B

§ 30. Masa.

Energia, jaką mają rozmaite ciała, gdy poruszają się z prędkością jednakową, jest bardzo rozmaita. Gdyby np. główka młotka była zrobiona z drzewa lub z korka, uderzenie takiego młotka sprawiałoby oczywiście skutki nieporównanie mniejsze, niż uderzenie młotka o główce żelaznej. Żeby to wyrazić, powiadamy, że żelazna główka ma większą *masę*, niż drewniana lub korkowa; to znaczy, że, poruszając się z jednakową prędkością, ma *większą energią ruchu*. Podobnież duży kawał żelaza ma masę większą niż mały kawałek żelaza; ciężkim dużym młotem można wbić gwóźdź w zbitą ścianę, bardzo lekko nim uderzając.

Skoro ciało, przy pewnej prędkości, ma tem większą energią, im większą ma masę, tedy ~~tem znaczniejszej~~ wówczas ~~pracy~~ potrzeba⌐ ażeby w niem tę prędkość wytworzyć. Popchnijmy jednakowo mocno po kolejce (jakie bywają po fabrykach i kopalniach) jeden wózek pusty, a drugi naładowany; pusty potoczy się dalej, więc prędkość, jaką~~śmy~~ w nim wytworzyli↓, była większa. Powodem tego była mniejsza jego masa. Że istotnie tak jest, widzimy stąd, że znacznie trudniej jest powstrzymać w biegu wózek naładowany niż wózek pusty, jeśli rozpędzimy jednakowo jeden i drugi. Wózek naładowany ma większą masę, zatem większą energią ruchu przy jednakowej prędkości, więc nic dziwnego, że mu tę jego większą energią odebrać jest trudniej.

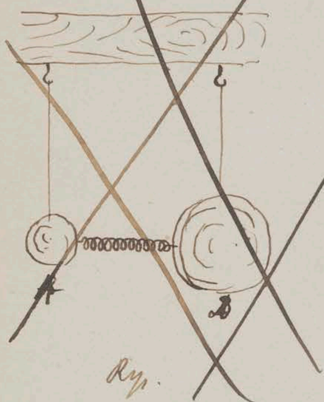
⌐ tem znaczniejszej pracy,

↓ = śmy

Masa ciała jest to więc pewna własność, czyli cecha jego, wskazująca, jaką energią ruchu posiada to ciało, gdy porusza się z pewną prędkością; zarazem wskazująca, jakiej potrzeba pracy, ażeby w niem tę prędkość wytworzyć.

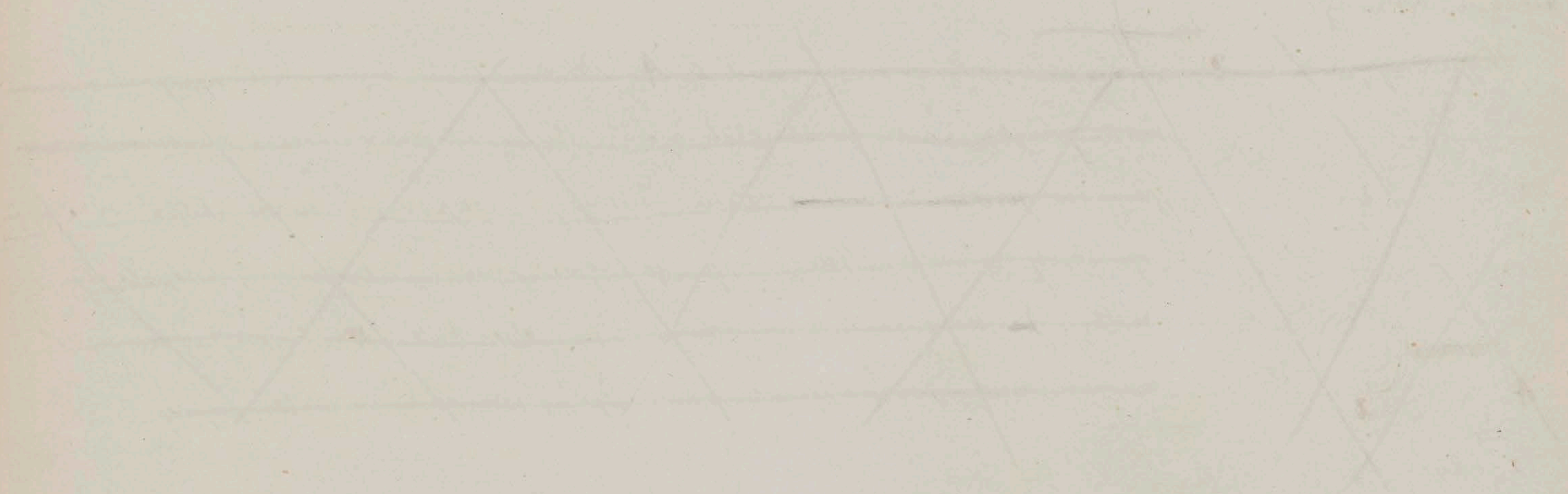
~~(Ryc.)~~

~~Przypuśćmy, że kula B ma znacznie większą masę niż kula A. Różnicę [illegible] mas, czyli ich różną [illegible], możemy wykazać w sposób następujący. Możemy sprężynę ścisnąć i [illegible] ją w [illegible] stanie ściśniętym za pomocą nitki, którą związujemy jej skręty z sobą. Umieszczamy sprężynę pomiędzy kulami, przepalamy nitkę; że wówczas taka sama siła porusza obie kule [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] znacznie powolniejszy [illegible] [illegible] [illegible].~~



Ryc.





§ 21. Masa a ciężar.

// 31

Powiedzieliśmy, że główka młotka żelazna ma większą *masę* niż drewniana lub korkowa; że duży kawał żelaza ma większą masę niż mały; że wózek naładowany ma większą masę niż pusty. Ale wiemy, że główka żelazna jest też i cięższa, czyli ma *ciężar* większy, niż drewniana lub korkowa; że duży kawał żelaza ma ciężar większy, niż mały kawałek; że wózek naładowany ma ciężar większy, niż pusty. Pokazuje się więc, że *ciało, które ma większą masę, ma też i większy ciężar.*

Lecz cóż to jest ciężar ciała? ~~Jest~~ to siła, z jaką ziemia ciągnie ciało ~~to~~ ku sobie. Gdy ciało *spada* swobodnie, zbliża się ono ku ziemi pod działaniem tej właśnie siły. Wystawmy sobie, że np. główka ~~od~~ młotka żelazna spada swobodnie i że jednocześnie główka drewniana też spada swobodnie. Zróbmy to doświadczenie; zobaczymy, że spadają one jednakowo prędko. Jeśli zaczęły spadać razem, to razem też dochodzą do podłogi. Jakim sposobem tak się dzieje? Przecież na główkę żelazną działa siła większa, mianowicie większy jej ciężar? Tak jest; ale główka żelazna, która ma ciężar większy, ma też i masę większą. Większa masa potrzebuje właśnie działania większej siły, ażeby nabyć prędkość takąsamą. ~~Wystawmy~~ sobie np., że na zupełnie gładkiej drodze albo na szynach stoją dwa wózki, jeden o masie dwa razy większej niż drugi. Jeśli popchniemy je jednakowo mocno, wózek masywniejszy potoczy się oczywiście z mniejszą prędkością. Ażeby obadwa wózki nabyły jednakowych prędkości, potrzeba dwa razy mocniej popchnąć wózek dwa razy masywniejszy, czyli przyłożyć doń siłę dwa razy większą. Zupełnie podobnie mają się rzeczy ze spadającemi ciałami. ~~Jeśli~~ ciała bardzo masywne i mniej masywne spadają jednakowo prędko, ~~to~~ widocznie na ciała masywniejsze działa siła przyciągania ziemi większa, na mniej masywne — siła mniejsza. ~~Jeśli~~ masa jakaś A, dwa razy większa od innej B, spada dokładnie taksamo, jak B, to widocznie siła przyciągania ziemi, działająca na A, czyli ciężar A jest też dwa razy większy od ciężaru B. *Skoro wszystkie ciała, spadając swobodnie, nabywają prędkości jednakowych, jest to dowodem, że ciężary ciał są do siebie w stosunku takim, w jakim są masy tych ciał.*

Γ Wiemy, że jest

H Wyobraźmy

H Skoro

Π tedy

H Skoro

Mogłoby się wydawać, że nie wszystkie ciała nabywają prędkości jednakowych w spadaniu swobodnem np. kamyk, moneta, kulka metalowa spadają widocznie prędzej, niż lekkie piórko lub skrawek papieru. Pamiętajmy jednakowoż, że spadanie, jakie widujemy zwyczajnie, *odbywa się w powietrzu;* a ciało, poruszające się w powietrzu, doznaje *oporu*. Powiewając np. wachlarzem lub arkuszem tektury, czujemy opór powietrza. Trzeba uwolnić ciała spadające od tego oporu, ażeby podlegały jedynie działaniu siły ciężkości.

/może
V;

Rys. 25.

§ ~~27~~. W próżni wszystkie ciała spadają równie prędko.

// 32

W następującem doświadczeniu uwalniamy się od oporu powietrza. Z rury szklanej (rys. 25.), zaopatrzonej w kurek *B* (który można zaśrubować na talerzu pompy pneumatycznej, zob. § ~~10~~) wyciągnięto powietrze; trzymamy ją kurkiem do góry, tak że kulka metalowa i piórko (które włożono do rury przed jej zamknięciem) leżą przy końcu *A*. Przewracamy teraz rurę raptownie; widzimy, że kulka i piórko *spadają razem i jednocześnie dochodzą do spodu*. Otworzywszy kurek, ~~i~~ wpuściwszy tym sposobem powietrze, przekonywamy się, że piórko przybiega później do spodu rury niż kulka. Dlaczego tak się dzieje? Dlaczego opór powietrza opóźnia bardziej spadanie piórka niż spadanie kulki? — Albowiem opór powietrza zależy od powierzchni ciała a nie od jego masy. Piórko ma większą powierzchnię niż kulka, więc doznaje od powietrza większego oporu. Nadto, ponieważ masa piórka jest mniejsza, więc skutek tego oporu na piórk~~a~~ będzie większy.

|≡ ?

V i powt~~arzaj~~ arzając doświadczenie raz jeszcze,

Γ ruchu

Weźmy kawałek żelaza *Z* (rys. 26.) i kawałek drzewa *D* i przywiążmy je do siebie zapomocą ~~sznurka~~. Kładziemy drzewo na żelazie (rys. 26. u góry) i puszczamy je swobodnie. Gdyby cięższe żelazo miało jakąkolwiek dążność do spadania prędszego, nicby mu nie przeszkadzało wyprzedzić drzewo, odłączyć się od niego, wyprężyć ~~sznurek~~, jak na rys. 26. u dołu. Ale tego bynajmniej nie widzimy: oba ciała spadają razem i dobiegają ziemi razem, jak na rys. 26. u góry. Przeciwnie, gdybyśmy ujęli *D* w rękę, pozwolili żelazu *Z* zawisnąć (rys. 26. u dołu) i w tem położeniu ciała puścili, wówczas w temsamem położeniu dobiegają ziemi. To dowodzi, że kawałek drzewa nie ma żadnej dążności do spadania prędszego niż kawałek żelaza; obadwa ciała dążą do poruszania się z jednakową prędkością pod wpływem ciężkości.

H nitki.

H nitkę

Rys. 26.

Powiadamy zatem, że wszystkie ciała spadają jednakowo prędko pod działaniem ~~samej~~ ~~tylko~~ siły ciężkości, samej przez się.

§ 33. Jak spadają ciała pod działaniem ciężkości.

Lecz jak prędko mianowicie spadają ciała pod działaniem ciężkości? ~~[illegible]~~ Przedewszystkiem ~~[illegible]~~, zauważmy, że ~~[illegible]~~ ciało ~~[illegible]~~ spadające ~~[illegible]~~, porusza się nie ~~nie~~ jednostajnie (§), ~~[illegible]~~

Lecz spada coraz prędzej ku dołowi; innemi słowy: jego prędkość staje się coraz większa. Ruch ciała spadającego jest więc przyspieszony, podobnie jak ruch pociągu, wyjeżdżającego ze stacyi (§). Istotnie, wiemy dobrze, że możemy zeskoczyć z ławki lub z krzesła na podłogę bez szwanku, ale taki sam skok z wysokości szafy albo pieca mógłby być bardzo niebezpieczny. Wiemy także, że szklanki, talerze i tym podobne przedmioty ulegają tem pewniej stłuczeniu, z im większej wysokości zostały upuszczone. Znany jest powszechnie kafar, czyli przyrząd, służący do wbijania pali; za pomocą bloka, łańcucha, kół i korb robotnicy wciągają w nim ciężar C do góry, następnie zaś uwalniają go raptownie; ciężar spada i wbija pal w ziemię. Otóż skutki uderzenia w tym przyrządzie są tem znaczniejsze, z im większej wysokości ciężar C zostanie puszczony. Skutki uderzenia ciężaru zależą oczywiście od energii ruchu (§ 28), jakiej on nabywa, spadając; a ponieważ ta energia jest tem większa, im prędkość jest większa, więc znowu tutaj widzimy, że prędkość ruchu ciała spadającego rośnie, w miarę spadania, coraz bardziej.

C

Bower, 37

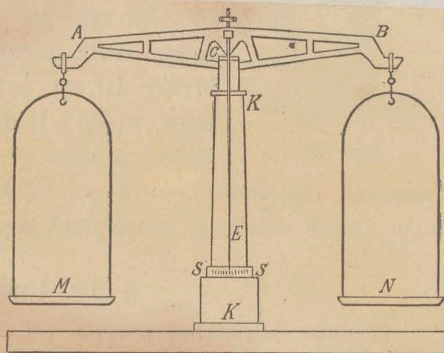
Zapytujemy zatem: jaką prędkość osiągają ciała spadające po upływie sekundy od początku spadania? jaką prędkość osiągają po upływie dwóch sekund? trzech sekund? i t. d. Z pomiarów, które uczeni wielokrotnie i starannie wykonali, okazuje się, że wszystkie ciała, spadające w próżni swobodnie, osiągają prędkość 981 cm. na sekundę po upływie sekundy, prędkość 1962 cm. na sek., czyli dwa razy większą, po upływie dwóch sekund, prędkość 2943 cm. na sek., czyli trzy razy większą, po upływie trzech sekund i t. d. i t. d.

Zastanówmy się teraz, jaką pionową drogę, czyli jaką wysokość, przebywa ciało spadające swobodnie np. w ciągu pierwszej sekundy. Czy może przebywa drogę, wynoszącą 981 cm.? Bynajmniej, jak to zaraz zobaczymy.

W miarę spadania prędkość ciała zwiększa się nieustannie; a zatem już w ciągu pierwszej sekundy prędkość ta musiała zmieniać się ciągle, stawać się coraz większą. Jeśli więc podzielimy w myśli pierwszą sekundę na 981 równych (drobnych) części, będziemy mogli powiedzieć: początkowa prędkość jest żadna, równa zeru; w końcu pierwszej 1/981-ej części ~~sekundy~~, prędkość wynosi 1 cm. na sek, w końcu drugiej takiejsamej cząstki wynosi 2 cm. na sek., w końcu trzeciej wynosi 3 cm na sek i t. d., w końcu przedostatniej, lub 980-tej, wynosi 980 cm na sek, w końcu ostatniej, czyli w końcu całej pierwszej sekundy wynosi 981 cm na sek. Teraz średnia pomiędzy 0 a 981 jest 490,5; średnia pomiędzy 1 a 980 jest także 490,5; pomiędzy 2 a 979, pomiędzy 3 a 978 i t. d. średnia ciągle wynosi 490,5. A zatem średnia prędkość ciała (zob. § 11) w ciągu całej pierwszej sekundy wynosi 490,5 cm na sek. Wiemy zaś z § 11-go, że w takim razie ciało spadające musiało, ~~przebyć~~ w ciągu pierwszej sekundy, przebyć taką drogę, jakgdyby było poruszało się jednostajnie, z prędkością stałą i równą 490,5 cm na sek; to znaczy oczywiście drogę 490,5 cm. A zatem wszystkie ciała, spadające w próżni swobodnie, przebiegają 490,5 cm w ciągu pierwszej sekundy.

§ 34. Mierzenie mas.

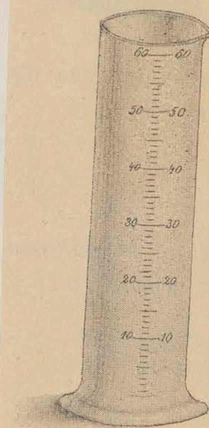
Powiedzieliśmy w § 32-im, że wszystkie ciała, lekkie i ciężkie, nabywają prędkości jednakowych (w czasach jednakowych) pod działaniem samej tylko siły ciężkości. To zaś, jak wiemy z § 31-go, — jest dowodem, że *masy większe mają też ciężary większe, mianowicie większe w tymsamym stosunku.* Zatem, *żeby mierzyć masy, trzeba mierzyć ciężary ciał.* Do tego celu służy *waga*. Składa się ona z belki *AB* (rys. 27.), w której pośrodku mieści się na dół zwrócony trójkątny słupek czyli pryzmat *C;* tym pryzmatem belka spoczywa na podstawce *K* tak, iż ostrze pryzmatu stanowi oś, około której belka się waha. Belka dźwiga z dwóch stron szalki *M, N;* w pośrodku opatrzona jest we wskazówkę *E;* kołysanie się



Rys. 27.

belki poznajemy po ruchu tej wskazówki przed podziałką *SS*. Waga taka działa zupełnie ~~jak dźwignia z rys. 17. i 18. w § 14., wogóle~~ jak dźwignia równoramienna, jaką poznaliśmy w § 19-ym. Dopóki szalki są puste, belka znajduje się w równowadze, gdyż szalki są jednakowo ciężkie (lub przynajmniej, w dobrej wadze, powinny być jednakowo ciężkie). Skoro naciśniemy łagodnie jedną szalkę, belka zaczyna się kołysać, ale się nie przewraca. Kiedy na jednej szalce, np. na prawej, leży ciało cięższe niż na drugiej, szalka prawa przeważa, wskazówka idzie na lewo. Ujmując albo dokładając ciężaru, doprowadzamy do tego, że wskazówka stoi nieruchomo w pośrodku skali lub też wychyla się w obie strony jednakowo daleko. Na szalkach leżą wówczas ciała, których ciężary są *równe*. W ten sposób porównywamy ciężary różnych ciał z ciężarem umyślnie przygotowanych ciężarków; ciężar ich jest znany, t. j. porównany z jednostką ciężaru. Jeśli ramiona belki nie są jednakowo długie, lub jeśli szalki nie są jednakowo ciężkie, wówczas waga nie jest rzetelna. Ale i na takiej wadze można przekonać się o prawdziwym ciężarze danego ciała za pomocą następującego sposobu. Ciało dane, położone na szalce np. lewej, równoważymy po prawej śrutem albo piaskiem; następnie zdejmujemy ciało z lewej szalki i na jego miejsce kładziemy ciężarki w takiej ilości, azeby nastąpiła równowaga; ciężar tych ciężarków będzie równał się ciężarowi ciała. ~~[illegible]~~ (Ważenie takie) nazywa się <u>tarowaniem</u> albo ważeniem podwójnem.

Porównawszy ciężar danego ciała z ciężarem ciężarków, porównywamy tem samem, jak już wiemy, też i masy ciał, które ważymy, z masą ciężarków a za ich pośrednictwem — z masą, obraną za jednostkę. Za jednostkę masy obrano ***gram (g)***, t. j. masę jednego centymetra sześciennego czystej wody. Dziesięć gramów nazywamy ***dekagramem***, tysiąc gramów — ***kilogramem***, tysiączną zaś część grama — ***miligramem***. A zatem milimetr sześcienny wody ma masę miligrama, czyli waży miligram; litr (czyli decymetr sześcienny) wody waży kilogram, metr sześcienny wody waży tysiąc kilogramów.



Rys. 28.

Na rys. 28. widzimy kubek szklany *dzielony:* skala nacięta na szkle oznacza, że aż do kreski 10 np. mieści się w nim dziesięć gramów wody i t. d. Mając wagę i dokładne ciężarki, można przyrządzić taki kubek albo też sprawdzić rzetelność gotowego kubka. Można też i na odwrót, mając kubek dzielony, sporządzić gramowe ciężarki.

§ 35. Jednostka siły i jednostka pracy.

Jak jednostką długości, pola, objętości, czasu, prędkości — jest pewna długość, pewne pole, pewna objętość, pewien przeciąg czasu, pewna prędkość, które raz na zawsze zostały wybrane (por. §§ 6, 8, 11), ~~podobnie~~ jak jednostką masy jest pewna masa, raz na zawsze obrana, mianowicie gram, podobnież jednostką siły musi być pewna określona i łatwa do odtworzenia siła, jednostką pracy musi być pewna określona i łatwa do odtworzenia praca. Za jednostkę siły przyjmuje się często ciężar 1 grama, albo też ciężar 1 kilograma; wiemy istotnie, że ciężar pewnego ciała jest to siła, z jaką

ziemia przyciąga to ciało ku sobie. Jednakowoż należy pamiętać, że wyraz kilogram oznacza
właściwie pewną masę, mianowicie masę litra wody czystej (§ 34); jednostką siły nie jest
więc właściwie kilogram, lecz ciężar jednego kilograma.

Wyobraźmy sobie, że jakakolwiek, równa ciężarowi 1 kilograma siła pracuje na drodze
równej 1 metrowi; wykona ona wówczas pewną określoną pracę, którą nazwano jednym
kilogramometrem. Za jednostkę pracy obiera się często kilogramometr. Widzimy odrazu,
że dla podniesienia jednego kilograma o wysokość jednego metra trzeba wykonać [illegible]
~~[illegible]~~ pracę 1 kilogramometra; podnosząc ~~[illegible]~~ kilogram o wysokość metra ~~[illegible]~~
zużyjemy zazwyczaj wprawdzie ~~[illegible]~~ więcej pracy, ale, jak wytłomaczyliśmy w §§ 21-ym i 27-ym, na samo
podniesienie pójdzie zawsze tylko 1 kilogramometr pracy i ani mniej, ani więcej, reszta zaś pracy
pójdzie ~~na uboczne wydatki~~ na pokonanie tarcia, oporów (i tym podobne uboczne wydatki). ~~tj.~~ Na tej ~~tylko~~ reszcie możemy
coś oszczędzić, używając stosownie ~~[illegible]~~ zbudowanych przyrządów; na właściwej
pracy podnoszenia chcieć coś oszczędzić, chcieć ~~tj.~~ np. wydać mniej pracy, niż jeden kilo-
gramometr, byłoby niedorzecznem usiłowaniem. ~~[illegible]~~ Wiemy,
że, pozwoliwszy kilogramowi opuścić się na dół o metr, uzyskamy ~~[illegible]~~
1 kilogramometr pracy; więc, gdybyśmy umieli ~~[illegible]~~ go podnieść wydatkiem pracy mniejszym niż
1 ~~[illegible]~~ kilogramometr, ~~[illegible]~~
potrafilibyśmy ~~wytwarzać pracę z niczego~~, za każdem podniesieniem i opuszczeniem, zyski-
wać pracy więcej, niż jej wydajemy, tj. potrafilibyśmy wytwarzać pracę z niczego, ~~[illegible]~~
~~[illegible]~~ wytwarzać jej tyle, ileby ~~by~~ się nam podobało. ~~Nie rozumiejąc, że to jest zu-~~
~~pełnie i [illegible] żadnym sposobem niemożliwe~~, Ludzie ~~[illegible]~~ jeszcze probują niekiedy wymyśleć
maszyny, któreby wytwarzałyby pracę z niczego, i ~~[illegible]~~ marnotrawią oni czas i siły ~~[illegible]~~
na tę bezowocne ~~niedorzeczne~~ ~~niemożliwe~~ usiłowania, których ~~byłoby~~ mogliby sobie oszczę-
dzić, zapoznawszy się poprzednio z zasadami Nauki Fizyki.

LI 36

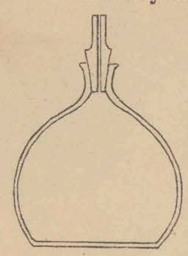
§ 29. Gęstość.

Zróbmy sześciany, mające po centymetrze długości w krawędzi, a więc równe każdy centymetrowi sześciennemu. Zróbmy jeden z ołowiu, drugi z żelaza, trzeci ze szkła, czwarty z lodu, piąty z drzewa (np. jodłowego), szósty z korka. Widzimy odrazu, że sześcian ołowiany jest najcięższy, a korkowy najlżejszy. Ale zapomocą wagi możemy poznać dokładniej, że:

sześcian	waży około		sześcian	waży około
ołowiany	11 gramów	—	z lodu	$\frac{9}{10}$ grama
żelazny	$7\frac{1}{2}$,,	—	z drzewa	$\frac{1}{2}$,,
szklany	$2\frac{1}{2}$,,	—	z korka	$\frac{1}{4}$,,

Gdyby można było zrobić z wody taką samą bryłkę, równą centymetrowi sześciennemu, ważyłaby ona jeden gram. Widzimy więc, że w pewnej objętości ołowiu, żelaza i szkła mieści się masa większa, niż w tejsamej objętości wody; a w pewnej objętości lodu, drzewa i korka mieści się masa mniejsza, niż w tejsamej objętości wody. Mówi się, że ołów, żelazo i szkło są *gęstsze* a lód, drzewo i korek — *mniej gęste* niż woda. Gęstością nazywa się liczba gramów w centymetrze sześciennym. A zatem woda ma gęstość 1, ołów ma gęstość 11, żelazo $7\frac{1}{2}$, szkło $2\frac{1}{2}$, lód 0·9, drzewo jodłowe 0·5, korek 0·25. Miedź ma gęstość 9, metal glin (aluminium) ma gęstość 2,7 a więc jak na metal bardzo niewysoką.

Rtęć jest cieczą taksamo jak woda, ale ma gęstość bardzo znaczną. Zrównoważmy na szalkach wagi dwa kubki jak na rys. 28. Jeśli do jednego wlejemy 10 centymetrów sześciennych rtęci, trzeba będzie wlać do drugiego 135 centymetrów sześciennych wody, żeby przywrócić równowagę. Zatem gęstość rtęci wynosi 13·5. Gęstość alkoholu (wyskoku) wynosi 0·8, a gęstość oliwy 0·9. Mierzymy gęstość tych cieczy najlepiej zapomocą bańki szklanej (rys. 29.), którą ważymy najprzód pustą, później pełną wody (aż do jakiejś kreski w wydrążonym koreczku), pełną alkoholu, oliwy i t. d. Odejmując za każdym razem ciężar bańki pustej, znajdziemy ciężary wody, alkoholu, oliwy, które wypełniały tęsamą objętość a stąd gęstość alkoholu i oliwy. Gęstość nafty wynosi około 0.85; gęstość gliceryny około 1·25.



Rys. 29.

§ 37. Energia ciała, poruszającego się pod wpływem ciężkości.

Powróćmy do rysunku go w § 23-im i przypuśćmy, że linie BA, CA, DA wyobrażają np. rynienki, po których pozwalamy zbiegać na dół kulom, wypuszczając je z B, C, D. Jeśli B, C, D leżą na jednym poziomie, wówczas na podniesienie kul jednakowo ciężkich po drogach AB, AC, AD potrzeba pracy jednakowej (§ 23); zatem i odwrotnie, stoczenie się ich na dół wzdłuż BA, CA i DA wytworzy pracę jednakową. Praca ta, jak wiadomo z § 28-go, obróci się na nadanie kulom pewnych prędkości; zatem (zaniedbując tarcie) wnosimy, że kule przybiegną do A po drogach BA, CA, DA z jednakowemi prędkościami.

Przypuśćmy teraz (na chwilę, że moglibyśmy) wprowadzić kule te w miejscu A na nowe drogi AE, AF, AG (rys.), zachowując im prędkości, z jakiemi przybiegły do A. Jak wysoko w górę posłyby wówczas kule pomimo działania ciężkości? Aż do miejsc E, F, G, leżących na tymsamym poziomie, jak B, C i D. Istotnie, kule wbiegłyby w górę dopóty, dopóki energia ruchu, jaką nabyły w A, nie wyczerpałaby się na pracę wznoszenia. Lecz energia ich ruchu w miejscu A powstała z pracy, zyskanej przez zejście z poziomu BCD do poziomu A; zatem wystarczy jej właśnie na wzniesienie się do tego samego poziomu EFG.

§ 38. Ruch wahadła.

Ruch wahadła (§§ 16 i 17) jest podobny do powyższego przykładu, z tą różnicą, że kula wahadła (rys.) zbiega na dół (np. w miejscu B) po łuku koła BA, zamiast po linii prostej; zbiega więc po linii o coraz to innem, czyli zmiennem pochyleniu, gdy wprzódy zbiegała po linii prostej, o pochyleniu stałem.

Rys.

Ale wiemy z §§ 23-go i 37-go, że pochylenie drogi nie wpływa ani na pracę wznoszenia lub obniżania się, ani na energię ruchu, jaka się wytwarza. Powiadamy więc: jeśli

puścimy wahadło w ruch w położeniu B, wówczas, przebiegłszy przez A, podniesie się ono z drugiej strony do tegosamego poziomu, z jakiego zostało puszczone, t. j. do punktu C. (Tu znowu zaniedbujemy straty energii ruchu, jakie wynikną z oporu powietrza, tarcia w punkcie O i t. d.) Przejście od B do C (i napowrót od C do B) nazywamy (jednem) wahnięciem.

Można urządzić wahadło tak, azeby kula jego przebiegała drogi rozmaicie nachylone. W tym celu wbijamy gwóźdź w miejscu np. P. (rys.). Wahadło odbędzie drogę BA tak samo jak poprzednio, ale, poczynając od A, pójdzie wzdłuż AD, nitka bowiem zagina się o gwóźdź P. Nowa droga AD jest oczywiście bardziej stroma, niż dawna AC, kula wahadła jednakże dojdzie znowu do tegosamego poziomu jak wprzódy, a zatem do D. Jeśli wbijemy gwóźdź w miejscu Q, kula wahadła dojdzie po drodze AE do punktu E, wzn. znowu do tegosamego poziomu. Gdybyśmy wbili gwóźdź w miejscu R, tak iż swobodna część nitki nie wystarcza na dojście kuli do poziomu BCDE, wówczas wahadło owinie się dokoła gwoździa, albowiem po największem możliwem wzniesieniu się energia ruchu kuli jeszcze nie jest wyczerpana całkowicie na pracę przeciwko ciężkości. —

§ 39. Czy wszystkie wahadła wahają się jednakowo prędko?

Zbudujmy dwa wahadła A, B (rys.) jednakowo długie. Niechaj kula jednego (B) ma masę dwa razy większą niż kula drugiego (A); tak będzie, jeśli obie są np. żelazne i jeśli kula B ma dwa razy większą objętość niż A. (Na rysunku widzimy każde wahadło zaopatrzone w dwie nitki, dla pewniejszego utrzymania go w jednej płaszczyźnie wahania się). Wahanie się wahadeł, jak wiemy, jest tylko pewnym rodzajem (kolejnego) spadania i podnoszenia się kul pod działaniem ciężkości; widzieliśmy zaś (w §§ 31-ym i 32-im, że wszystkie ciała, lżejsze i cięższe, spadają jednakowo prędko pod działaniem ciężkości. Zatem wnosimy, że obadwa wahadła A, B (rys.) ~~muszą~~ powinny wahać się jednakowo

prędko, że czas jednego wahnięcia jest dla nich jednakowy. Sprawdzamy to łatwo: odchylamy A i B przy pomocy podstawionego pręta, usuwamy pręt nagle i jednocześnie z pod obu wahadeł. Zobaczymy, że wahadła wahają się razem; dopiero po upływie dłuższego czasu wahadło cięższe zaczyna wyprzedzać lżejsze, co jest skutkiem oporu powietrza. Zatem widzimy, że kula o masie dwa razy większej ma też i ciężar dwa razy większy, czyli jest dwa razy silniej przyciągana przez ziemię; i jest to prawda, o której przekonaliśmy się już w §§ 31-ym i 32-im innym sposobem. Jakiekolwiek weźmiemy (A i B) kule: żelazne, ołowiane, mosiężne, kamienne, stosunek ich ciężarów będzie takisam jak stosunek ich mas i czas wahnięcia będzie jednakowy. ~~Prawa spadania i wahania się ciał pod wpływem ciężkości wykrył wielki uczony włoski Galileusz na początku XVII-go wieku.~~

Weźmy teraz wahadła niejednakowo długie; przekonamy się zaraz, że krótsze wahadło waha się prędzej, t.j. że czas wahnięcia jest dla niego krótszy.

Prawa swobodnego spadania i ruchu wahadeł odkrył znakomity uczony Galileusz (który żył we Włoszech, w końcu XVI-go i w) początku XVII-go stulecia.

§ 40. O czasie małych wahań.

Zważajmy dokładnie, z zegarkiem w ręku, w jaki sposób waha się wahadło, kiedy nie odchyla się znacznie od położenia równowagi OA na rys. -im (§ 38), kiedy wykonywa tylko małe, drobne wahania wprawo i wlewo od tego położenia. Porachujmy ile wahnięć wykonało wahadło w ciągu pierwszej, ile w ciągu drugiej, trzeciej ..... minuty; albo też, jeśli mamy zegarek opatrzony sekundnikiem, zważajmy, ile sekund trwało dziesięć pierwszych wahnięć, ile sekund następnych dziesięć, ile jeszcze dalszych dziesięć i t.d. Przekonamy się, że, chociaż wychylenia krańcowe (OB, OC na rys.), pomiędzy któremi odbywają się wahania, zmniejszają się powoli, pod wpływem oporu powietrza, jednak czas trwania wahnięcia nie zmniejsza się, jest ciągle tensam. Jest to istotnie własność ruchu wahadłowego, że czas wahnięć małych, bardzo małych i nadzwyczajnie małych jest jednakowy; innemi słowy, że czas wahnięcia nie zależy od wychylenia, gdy wychylenia nie są znaczne. Na tej zasadzie polega zastosowanie wahadła do regulowania czyli ujednostajniania biegu zegarów. Na rys. -im widzimy najważniejszą część mechanizmu zega-

41
47

rowego. Ciężar C obniża się pod wpływem siły ciężkości, zatem wprowadzałby walec a w obrót niejednostajny, mianowicie w coraz prędszy (§ 33), gdyby nie przeszkadzało temu wahadło W. Wahadło to, wahając się, po kolei wyzwala zęby koła zębatego Z za pośrednictwem kotwicy czyli wychwytu K; koło Z jest osadzone na walcu a, więc walec może obrócić się tylko o jeden ząb koła za każdem wahnięciem wahadła. Wahnięcia trwają czas jednakowy, tym więc sposobem ruch walca a i połączonych z nim dalszych kół i kółek jednostajny się. Wahadło W zaś nie może uspokajać się i ustawać w wahaniach, gdyż nacisk koła Z na kotwicę zmusza je ciągle do ruchu.

§ 39. Ruch ciała rzuconego.

⊔ 41

Gdy puszczamy jakie ciało swobodnie, biegnie ono na dół po linii pionowej (§ 11.). Lecz jak się ciało poruszy, gdy je rzucimy z pewną prędkością w jakim bocznym kierunku? Będzie odbywało dwa ruchy jednocześnie (§ 8.): ten, który my sami nadaliśmy i ten, który wytwarza siła ciężkości. Przypuśćmy, że z wieży lub góry wystrzelono kulę armatnią w kierunku AZ (rys. 30.). Gdyby nie było ciężkości, kula pobiegłaby w kierunku AZ i przez bezwładność musiałaby biedz w tym kierunku coraz dalej i dalej. Ale siła ciężkości od pierwszej chwili pociąga kulę ku dołowi. Dlatego, zamiast do z np., kula dochodzi do c'; zamiast do z'', dochodzi do c'' i t. d.; jednem słowem odbywa drogę AC. Gdyby wystrzelono kulę z większą prędkością (np. zapomocą silniejszego naboju), zdążyłaby ona pobiedz dalej w stronę AZ, zanimby ciężkość zdołała pociągnąć ją o tyleż, jak wprzódy, ku dołowi; zatem przy większej początkowej prędkości drogą kuli będzie np. AD. W razie mniejszej prędkości, przeciwnie, drogą jej będzie np. AB.

π 15

↓ 12

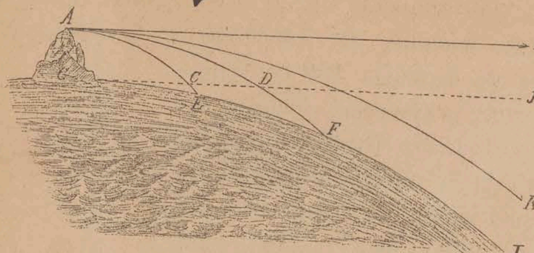
Rys. 30.

↓ jej

11 42

§ 42. Bieg księżyca dokoła ziemi.

Wiemy, że ziemia nie jest płaska, lecz kulista; rozważmy więc jeszcze raz ruch naszej kuli armatniej z § 41-go, pamiętając o tem. Na rys. 31. widzimy część ziemi *GEFL*. Gdyby ziemia była płaska, kula, wystrzelona z *A*, byłaby spadła, jak powiedzieliśmy, w *C*; istotnie więc spadnie nie w *C*, lecz w *E*. Wystrzelona silniej, spadnie nie w *D*, lecz w *F*. Widzimy, że powierzchnia ziemi *GL* obniża się coraz bardziej pod poziom linii *GJ* tak, jak linie *AE* i *AF* obniżają się pod poziom *AZ*; tylko, że linie *AE* i *AF* obniżają się prędzej, więc dochodzą do powierzchni ziemi *GL*. Możemy jednak pomyśleć, że wystrzelono kulę z wierzchołka *A* z taką prędkością, że pobiegnie ona po drodze *AK*, t. j. po drodze, która obniża się zupełnie taksamo pod poziom *AZ*, jak *GL* obniża się pod poziom *GJ*. ~~Wówczas kula, chociaż ciągle~~



Rys. 31.

— (kursywą)

Powiadamy, iż możemy pomyśleć, że wystrzelono kulę z taką prędkością; ~~[illegible]~~ środki dotychczas znane nie wystarczają na to, ażeby to rzeczywiście wykonać. Wyobraźmy sobie ~~[illegible]~~, że wynaleziono sposób wyrzucania pocisków ~~[illegible]~~ potężniejszy, niż dzisiejsze ~~[illegible]~~ armaty; że ~~[illegible]~~ wystrzelono kulę z wierzchołka *A* z tak znaczną prędkością, iż ~~[illegible]~~biegnie ona po drodze *AK*. Wówczas kula, chociaż ciągle

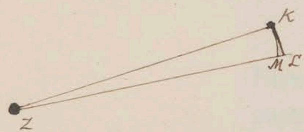
spada, nie zbliża się do ziemi; o ile bowiem kula zniża się pod działaniem ciężkości, o tyleż zniża się powierzchnia ziemi wskutek swej kulistości. Co zatem stanie się z kulą? okrąży ziemię i powróci do *A* ze strony przeciwnej. Gdyby ~~nagle~~ w którémś miejscu tej drogi np. w *A*, siła ciężkości nagle działać przestała, kula pobiegłaby dzięki bezwładności po linii takiej, jak *AZ* w miejscu *A*, czyli po t. zw. stycznej; ale tak być nie może, bo siła ciężkości jest czynna ciągle, bez przerwy. Więc działanie ciężkości polega na tem, że zakrzywia ona ustawicznie drogę naszej kuli i tym sposobem nie pozwala jej odbiedz od ziemi; a znowu bezwładność kuli krążącej nie pozwala jej uledz ciężkości i upaść na ziemię.

Wiemy, że siła ciężkości działa na najwyższych górach i w największych wysokościach, do jakich wzniesiono się balonami. Księżyc znajduje się jeszcze znacznie wyżej nad nami, znacznie dalej od ziemi; ale niewątpliwie i w księżycowej odległości ciężkość jeszcze jest czynna. Teraz rozumiemy, dlaczego księżyc obiega wciąż naszą ziemię dokoła, ani nie spadając na nią, ani nie odbiegając od niej. Bo *księżyc krąży tak, jak nasza kula, która pobiegła po drodze AK*. Zatem ta sama siła przyciągania ziemi, która nadaje ciałom ciężar, która wypręża pion i zmusza upuszczone jabłko do spadania, tasama siła nie pozwala księżycowi odbiedz po linii takiej, jak *AZ* w miejscu *A* (rys. 31.), lecz ustawicznie zakrzywia jego drogę i zmusza go tym sposobem do krążenia dokoła ziemi.

Jak powiedzieliśmy w §§ ~~26-ym i 28-ym~~ 31, 32, 34 i 39., im większą masę ma jakie ciało, tem też większy ma ciężar, a mianowicie większy w tymsamym stosunku. Ponieważ zaś ciężar ciała jest to siła przyciągania, jaką ziemia na to ciało wywiera, więc powiadamy: siła przyciągania ciała przez ziemię jest tem większa, im większa ~~[illegible]~~ jest masa tego ciała, a mianowicie większa w tym samym stosunku, jak masa. —

§ 43. Prawo przyciągania.

Księżyc ~~z~~ obiega raz dokoła ziemi w ciągu 27 dni, 7 godzin, 43 minut i 11 sekund; innemi słowy w ciągu 2360591 sekundy. Ponieważ trzyma się on od środka ziemi na odległości, przeszło 60 razy dłuższej niż promień kuli ziemskiej, tj. na odległości około 384000 kilometrów, przeto obwód koła, po którem księżyc biegnie, mierzy około 2415200 kilometrów długości. A zatem, po drodze swej wokoło ziemi, księżyc przebiega ~~w ciągu sekundy~~ przeszło kilometr, mianowicie około 1025 metrów w ciągu każdej sekundy. Możemy stąd wyliczyć, o ile zakrzywia się, w kierunku ku ziemi, droga księżyca w ciągu każdej sekundy.



Rys.

Przypuśćmy np., że ziemia jest w Z a księżyc jest w K (rys.) Gdyby ziemia nie przyciągała, księżyc podążyłby w kierunku KL; tymczasem, porusza się on rzeczywiście po łuku KM skutkiem przyciągania przez ziemię. Wyobraźmy sobie, że powiększono rysunek aż do rozmiarów prawdziwych; wówczas odległość ZK ma 384000 kilometrów długości, łuk zaś KM, jeśli księżyc przebiega go w ciągu jednej sekundy, ma ~~sam metrów~~ nieco więcej niż 1 kilometr długości. Łatwo widzimy, że odcinek ML wypadnie wówczas nadzwyczaj krótki; można wyliczyć, iż miałby tylko 1,36 milimetra długości. A zatem przyciąganie ziemi sprowadza księżyc z drogi, którą odbywałby przez bezwładność, o długość 1,36 mm w ciągu każdej sekundy. Innemi słowy: gdybyśmy nagle zatrzymali księżyc i puścili go swobodnie, pomknąłby zaraz biegiem wprost ku ziemi i w pierwszej sekundzie zbliżyłby się do niej o 1,36 mm. Ale wiemy dobrze, że wszystkie ciała, lżejsze i cięższe, spadają jednakowo prędko pod wpływem przyciągania przez ziemię. Zatem nietylko księżyc, lecz wszelkie wogóle ciało, spadając ku ziemi z księżycowej odległości, przebiegłoby 1,36 mm w ciągu pierwszej sekundy. Tymczasem, każde ciało na powierzchni ziemi, spadając swobodnie, przebiega 490,5 cm czyli 4905 mm w ciągu pierwszej sekundy (§ 33); więc przebiega drogę około 3600 razy dłuższą, niżby to wię-

niż w odległości księżycowej. Stąd wnosimy, że przyciąganie ziemskie jest 3600 razy słabsze w odległości księżyca od środka ziemi, niż na powierzchni ziemi; to znaczy, że w odległości 60-ciu promieni ziemskich jest 3600 razy słabsze, niż w odległości jednego promienia. Lecz

$$3600 = 60 \times 60$$

i dlatego nazywamy liczbę 3600 kwadratem liczby 60. A zatem powiadamy: gdy ciało oddala się od ziemi, przyciąganie, którego od niej doznaje, zmniejsza się tyle razy, ile razy zwiększa się kwadrat odległości jego od środka kuli ziemskiej. Można też krócej powiedzieć: przyciąganie ziemi słabnie w stosunku odwrotnym do kwadratu odległości.

§ ~~37~~ 11. Ciążenie powszechne.

// 44

Jak księżyc dokoła ziemi, podobnie krąży ziemia dokoła słońca. Utrzymując się w odległości 149 milionów kilometrów od słońca i obiegając w ciągu roku koło, zakreślone tak ogromnym promieniem, ziemia nasza w ciągu sekundy przebiega blisko 30 kilometrów (dokładniej 29·6). Ziemię, ożywioną taką znaczną prędkością, utrzymuje na wodzy przyciąganie słońca, albowiem przyciąganie działa pomiędzy słońcem a ziemią podobnie, jak działa ono pomiędzy ziemią a księżycem. Bryła słoneczna ~~utrzymuje~~ swem przyciąganiem / utrzymuje na wodzy nie tylko ziemię, lecz również i inne ciała niebieskie, które widujemy nocą jako świetne gwiazdy i które nazywamy *planetami*. Słońce przyciąga ziemię i planety, ustawicznie zakrzywia ich drogi i zmusza je tym sposobem do krążenia dokoła siebie.

Dokoła niektórych planet biegną księżyce, podobnie jak dokoła naszej ziemi; planety przyciągają swoje księżyce, podobnie jak ziemia ~~nasza~~ przyciąga ~~nasz~~ księżyc, jak słońce przyciąga ziemię i planety. Co więcej: i ~~nasz~~ księżyc przyciąga ~~naszą~~ ziemię; i ~~nasza~~ ziemia przyciąga słońce; i planety przyciągają słońce i są przyciągane przez swoje księżyce. *Przyciąganie pomiędzy ciałami jest zawsze obustronne, wzajemne*; dlatego nazywamy je także *ciążeniem*. Jest ono tem większe, im większe są masy przyciągających się ciał. Ziemia więc przyciąga kamień i kamień przyciąga ziemię; przyciąganie z obu stron jest dokładnie jednakowe, ponieważ zależy zarazem od masy ziemi i od masy kamienia; ale tasama siła nadaje ciału prędkość tem mniejszą, im masa tego ciała jest większa (§ 23). Owóż masa ziemi jest miliony milionów razy większa, niż masa kamienia; dlatego, gdy oba ciała poczynają spadać ku sobie, bieg ziemi ku kamieniowi jest miliony milionów razy powolniejszy, niż bieg kamienia ku ziemi.

~~(por. § 13)~~

// 30

Powiadamy zatem, że przyciąganie pomiędzy dwoma ciałami jest zawsze obustronne, wzajemne; jest to zresztą tylko przykład na ogólną zasadę (§ 13), że z wszelkiem działaniem, z ~~[illegible]~~ istnieniem wszelkiej wogóle siły, połączone jest przeciwdziałanie, czyli ~~[illegible]~~ (istnienie) siły równie znacznej, ale ~~[illegible]~~ (wprost przeciwnie skierowanej).

Pomiędzy wszystkiemi bez wyjątku ciałami na świecie istnieje takie wzajemne ciążenie. Wiemy, że ziemia przyciąga ku sobie kulę pionu; otóż kulę taką przyciąga ku sobie i góra, tylko słabiej, niż ziemia, gdyż masa góry jest znacznie mniejsza, niż masa ziemi. Totez w pobliżu góry pion nie wisi dokładnie pionowo, lecz odchyla się ku niej nieznacznie.

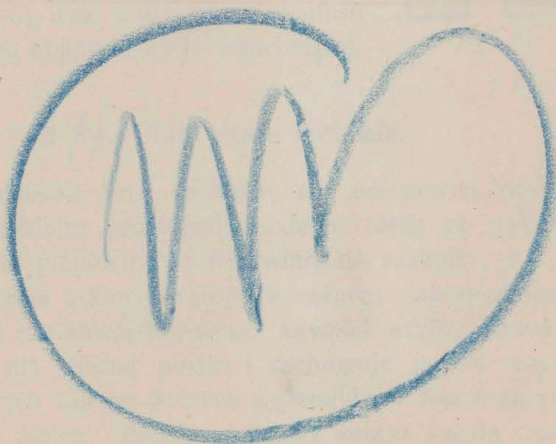
Acap. || Wystawmy sobie dwa kilogramy (A, B,) położone niedaleko siebie. Możemy być pewni, że one się przyciągają wzajemnie. Lecz siła ta jest tak nieznaczna, że odczuć jej np. naszemi zmysłami zgoła nie możemy. Uczonym udało się wykazać bezpośrednio (a nawet i zmierzyć) przyciąganie pomiędzy dwoma np. kilogramami, za pomocą nadzwyczaj czułych przyrządów. Możemy łatwo zrozumieć, że to przyciąganie musi być bardzo słabe. Weźmy kilogram A w rękę; ciężar jego, który czujemy, — to przyciąganie, czynne pomiędzy kilogramem A a ziemią. Przyciąganie pomiędzy tym kilogramem A a drugim B jest oczywiście tyle razy mniejsze od ciężaru A, ile razy masa kilograma B jest mniejsza od masy ziemi.

Wody oceanów są również przyciągane przez słońce i księżyc; || Ztąd powstaje zjawisko, zwane przypływem i odpływem morza. Jednem słowem, <u>ciążenie jest powszechne</u>.

Ciążenie powszechne panuje w świecie i rządzi ruchem ciał niebieskich i ziemskich. Wykrył to uczony angielski, nazwiskiem <u>Newton</u> (czyt. Niuton), który żył od r. 1643 go do r. 1727-go. Newton udowodnił, że prawo powszechnego ciążenia jest takie same, jak prawo przyciągania między księżycem a ziemią (§) a mianowicie: ciążenie jest w stosunku prostym do mas a odwrotnym do kwadratów odległości ciał, ku sobie ciążących. Astronomowie więc, znając odtąd siły, wywierane przez słońce, ziemię, planety, księżyce i t. d. wzajemnie na siebie, umieją obliczyć, jak się te ciała poruszają i jak poruszać się będą w przyszłości; zatem mogą <u>przepowiadać</u> wydarzenia na niebie, np. położenia planet, bieg komet, zaćmienia i t. d. Odkrycie prawa powszechnego ciążenia pozwoliło nam przeto opanować myślą bieg wydarzeń na niebie; dlatego Newton odkryciem prawa ciążenia zasłużył na cześć i uwielbienie ludzkości. —

29
31

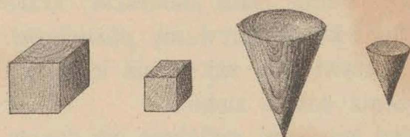
Rozdział II



ROZDZIAŁ DRUGI.

O ciałach stałych, ciekłych i gazowych.

§ 33. Objętość a postać. // 45



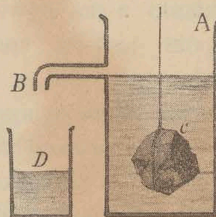
Rys. 32.

Każde ciało ma pewną *postać*. Cegła np. ma postać prostopadłościanu, świeca i ołówek — postać walca, lejek ma postać stożka. *Postać* jest to własność zupełnie inna niż *objętość* (§ 1.). Dwa sześciany np. lub dwa stożki na rys. 32. mają jednakową postać, lecz niejednakową objętość. Dwa walce na rys. 33. mają przeciwnie jednakową objętość, postać zaś niejednakową. W ogóle dwa ciała *różnej* i niepodobnej postaci mogą mieć objętość *jednakową*.



Rys. 33.

Weźmy naczynie A, opatrzone w wypływ boczny B, rys. 34.; napełnijmy je wodą, a kiedy wypływ przez B ustanie, wprowadźmy ciało C i zbierzmy w D wodę, którą C wypchnęło. Ciało C ma tyle centymetrów sześciennych objętości, ile gramów waży woda zebrana (§ 28.). Jakakolwiek jest postać ciała C, objętość jego będzie takasama, jak objętość wody w D. Jeśli kamień, ręka, roślina wypychają jednakową ilość wody, mają objętość jednakową, równą objętości wody wypchniętej. // 34



Rys. 34.

§ 34. Ciała stałe i ciekłe. // 46

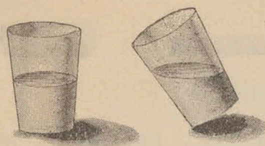
Kawałek drzewa leży na stole; ma on pewną postać, np. jest długim i cienkim prostopadłościanem. Jeśli go położymy na boku, postawimy pionowo lub wstawimy do szklanki, *nie zmieni postaci*, pozostanie takim prostopadłościanem jak przedtem. Podobnie zachowa się kawałek żelaza, kawałek szkła, kawałek kauczuku. Każdy ma własną postać i zachowuje ją bez względu na ciała, przy których lub na których się znajduje. Nazywamy dlatego kawałek drzewa ciałem *stałem;* kawałek żelaza, szkła, kauczuku jest podobnież ciałem stałem. Zupełnie inaczej zachowuje się *woda*. Woda nie ma wcale własnej postaci; nie można powiedzieć: »kawałek wody«. Nalana do szklanki, woda przybiera postać jej wnętrza; przelana do karafki, przybiera postać wnętrza karafki (rys. 35.). *Woda zmienia postać z wszelką łatwością.*



Rys. 35.

Przypatrzmy się postaci wody w jakiemkolwiek naczyniu. Wszędzie, gdzie styka się ze ścianą naczynia, woda przylega do ściany i przyjmuje jej postać; lecz od góry, na powierzchni swobodnej, gdzie styka się z powietrzem, woda układa się *płasko*

i poziomo, co można sprawdzić zapomocą pionu (§ 15.). Jeśli przechylimy naczynie, woda zmieni postać, ale w taki sposób (rys. 36.), że powierzchnia jej pozostanie płaska i pozioma. Woda jest przykładem *ciała ciekłego* czyli *cieczy*.

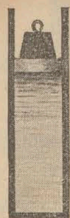


Rys. 36.

Prócz wody jest jeszcze wiele innych cieczy. Np. cieczą jest miód; i miód także wypełnia całkowicie dolną część szklanki a na powierzchni układa się płasko i poziomo. Zatem, dopóki jest w spoczynku, miód zachowuje się podobnie jak woda; gdy jest w ruchu, zachowuje się pod pewnym względem inaczej. Przechylając szklankę z miodem, widzimy, że zmienia on postać *powolniej* niż woda, bardziej opieszale, jak gdyby przezwyciężał jaką przeszkodę. Można dojrzeć przytem, przez bardzo krótką chwilę, powierzchnię cieczy w położeniu pochyłem, czego w wodzie dostrzedz niepodobna. Taksamo jak miód zachowuje się olej, syrop, gliceryna. Przybierają one *ostatecznie* kształt naczynia i rozlewają się poziomo i płasko; dlatego nazywamy je *cieczami*. Ale czynią to opieszale, zużywają na to stosunkowo wiele czasu; dlatego nazywamy je cieczami *lepkiemi*. Inaczej mówimy, że są to ciecze mało *ruchliwe*, gdy przeciwnie woda, alkohol, eter — są to ciecze bardzo ruchliwe.

§ 47. Ściśliwość cieczy.

Woda zmienia postać z wszelką łatwością (§ 46.); ale co innego postać, a co innego objętość (§ 45.). Woda zmienia postać z łatwością, lecz objętość zmienia przeciwnie z największą trudnością. Gdy wkładamy palec do wody, ustępuje ona łatwo, lecz podnosi się zaraz dokoła, tak iż zachowuje dawną objętość. Spróbujmy przeszkodzić wodzie w jej dążności do zachowywania objętości bez zmiany. Weźmy (rys. 37.) walec z tłokiem szczelnie przystającym i próbujmy tłok wcisnąć do wody. Nie zdołamy popchnąć tłoka ani o milimetr ku dołowi, jeśli woda nie przeciśnie się pomiędzy tłokiem a ścianą naczynia. Tu bowiem usiłujemy zmienić już nie postać, lecz objętość wody, mianowicie usiłujemy objętość tę zmniejszyć czyli wodę *ścisnąć;* to zaś wymagałoby siły, której człowiek wywrzeć nie może. Woda jest więc



Rys. 37.

bardzo trudno ściśliwa czyli bardzo *mało ściśliwa*. Uczeni przekonali się dokładnie, o ile woda jest ściśliwa. Przypuśćmy, że walec (rys. 37.) ma 10 cm^2 w ~~przekroju~~ i zawiera wody 10 *cm* wysoko; należałoby wówczas położyć na tłok 2000 *kg*, ażeby posunąć go o 1 *mm* ku dołowi. Oczywista, że (z powodu tarcia pomiędzy tłokiem a ściankami walca i z innych powodów) doświadczenie to w tak prosty sposób nie może być wykonane; przytaczamy je tylko dla unaocznienia małej ściśliwości wody.—

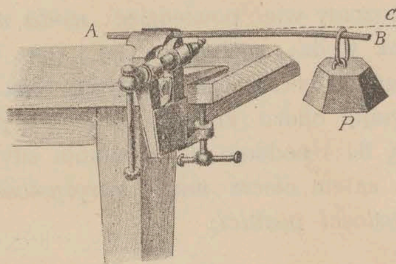
przecięciu

48

§ ~~36~~. Sprężystość ciał stałych.

13

Pręcik drewniany posiada własną postać, ~~(§ 34.)~~ ale pod działaniem *siły* (§ 2.) może ją zmienić. Jednym końcem np. umocowany w śrubsztaku czyli imadle (rys. 38.) a obciążony na drugim, pręcik wygina się pod działaniem siły ciężkości. Ponieważ jednak w pewnem położeniu *AB* pręcik jest w równowadze t. j. nie wygina się dalej, musiała więc zjawić się w nim siła, która równoważy ciężkość ciała *P*, *siła sprężystości* pręta, znana nam z §§ ~~9, 20~~. W pręcie niewygiętym *AC* nie było tej siły, ~~w pręcie zginanym~~ dopiero w pręcie zginanym pojawia się ona i staje się coraz większa, im bardziej go zginamy. Jeśli uwolnimy pręt od działania siły obcej, siła sprężystości przywraca go do zwykłej postaci (jeśli wygięcie nie było zbyt znaczne), ale też w miarę powracania do tej postaci sama coraz bardziej słabnie i niknie.



Rys. 38.

13, 25

Doświadczamy podobnież sprężystości pręta stalowego albo pałeczki szklanej; wyginane na końcu albo zginane w pośrodku, okazują one także sprężystość. Taśma kauczukowa wyciągana, piłka, ściskana w dłoni, sprężyna skręcana również okazują sprężystość. Cóż w ogóle czynimy, gdy ciała wyginamy, zginamy, wyciągamy, ściskamy, skręcamy? Zmieniamy w ogóle postać tych ciał. Zatem powiadamy: *sprężystość ciał stałych występuje na jaw* już wówczas, *gdy zmieniamy postać tych ciał*, chociażbyśmy nie zmieniali przytem ich objętości. *Ciała stałe mają sprężystość postaci.*

zwykłym drukiem

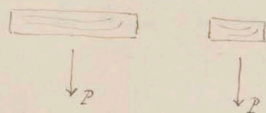
§ 49. Niektóre dalsze prawa sprężystości.

Weźmy cztery (prostopadłościenne) pręciki, kształtu dokładnie jednakowego; niechaj pierwszy będzie np. stalowy, drugi - mosiężny, trzeci - szklany, czwarty - drewniany. W pośrodku każdego pręcika przytwierdzamy wskazówkę *E* (rys.), do której zbliżamy skalę *SS*; kładziemy pręciki końcami na podstawkach *aa* i obciążamy w pośrodku ciężarami *P*. Zobaczymy, że pręciki sprzeciwiają się wyginaniu bardzo rozmaicie. Przypuśćmy, że ~~pod~~ pręcik drewniany wygiął się np. o 10 podziałek na skali pod działaniem ciężaru 1 *kg*; ażeby wygiąć pręciki pozostałe ~~wygiąć~~ o tyleż, musimy zawiesić przeszło 5 *kg* pod szklanym, przeszło 8 *kg* pod mosiężnym i prawie 18 *kg* pod stalowym. A zatem ~~powstaje~~ siła sprężystości, jaka ~~występuje~~ objawia się w pręcikach przy jednakowem wygięciu,

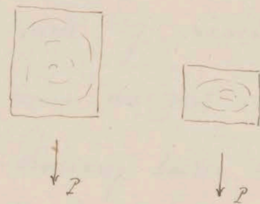
jest bardzo rozmaita. Mówi się też: stal jest bardzo sprężysta, a drzewo zaś znacznie mniej sprężyste.

Wiemy, że łatwiej jest wygiąć w pośrodku pręcik długi, niż krótki. Azeby to zbadać ściślej, weźmy dwa pręciki, wyrobione z tegosamego materjału, np. ze stali, o poprzecznem przecięciu jednakowem, ale rozmaitej długości; np. niechaj jeden będzie dwa razy krótszy od drugiego. Przekonamy się, że trzeba zawiesić 8 razy (t.j. 2×2×2 razy) większy ciężar pod krótszym pręcikiem, żeby wskazówki na obu obniżyły się jednakowo.

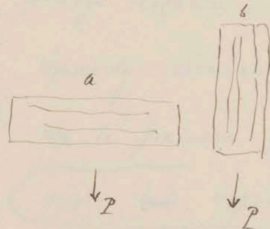
Weźmy dalej dwie drewniane beleczki o jednakowej długości i o poprzecznych przecięciach, jakie wyobraża rys. Kładziemy je „płasko" na podstawki aa (rys. 3); ciężary P działają więc na nie (w kierunku ich wysokości; działanie to) pokazują strzałki PP. Zobaczymy, że dwa razy szersza beleczka wymaga działania dwa razy większego ciężaru, azeby doznała wygięcia takiegosamego, jak węższa beleczka.



Weźmy nakoniec dwie drewniane beleczki o jednakowej długości, a jednakowej szerokości, ale niejednakowej wysokości, jak pokazuje rys. Kładziemy je na podstawki aa, tak, że ciężary P działają na nie w kierunku ich wysokości, teraz już niejednakowych. Zobaczymy, że beleczka dwa razy wyższa wygina się taksamo, jak niższa, (dopiero wtedy) kiedy jest obciążona 8 razy (t.j. 2×2×2 razy) większym ciężarem.



Uważajmy więc teraz pewną beleczkę drewnianą, której poprzeczne przecięcie wyobraża rys. Przypuśćmy, że, gdy leży „płasko" (rys. a), beleczka ma 30 cm szerokości, 10 cm wysokości. Jeśli postawimy ją „sztorcem", jak na rys. b, beleczka przybiera szerokość 10 cm, wysokość zaś 30 cm. Zatem szerokość jest teraz 3 razy mniejsza, wysokość zaś jest 3 razy większa, niż wprzódy. Jakiego więc trzeba ciężaru, azeby beleczkę w położeniu b wygiąć taksamo, jak w położeniu a? Z powodu 3 razy mniejszej szerokości trzeba trzy razy mniejszego ciężaru, ale z powodu 3 razy większej wysokości



Rys.

trzeba 3×3×3 = 27 razy większego ciężaru; ostatecznie więc trzeba 27:3 czyli 9 razy większego ciężaru. Beleczka ugina się więc (znacznie mniej) w położeniu b niż w położeniu a, pod działaniem jednakowego ciężaru. Ztąd widzimy, jak dalece znajomość praw sprężystości jest niezbędna w inżynieryi, w budownictwie, w rozmaitych gałęziach przemysłu i rękodzieł. Gdy układamy podłogę, sufit, wiązanie dachowe, gdy przyrządzamy ławkę lub półeczkę do szafy, gdy budujemy most lub rzucamy kładkę przez strumień, gdy na haku, wbitym w ścianę, zawieszamy ciężkie przedmioty, powinniśmy zawsze starać się o to, ażeby belki, pręty, deski, które obciążamy, doznawały możliwie najmniejszego wygięcia. Istnieje ku temu ważna przyczyna, i mianowicie następująca.

§ 50. Granice sprężystości.

Jeżeli obciążymy pręcik stalowy w sposób, opisany w artykule poprzednim, a następnie ciężar zdejmiemy, pręcik odegnie się, tj. powróci do swej pierwotnej postaci i nie będzie widocznego śladu, że został wygięty. Pręcik ołowiany zachowuje się inaczej. Jeśli go mocno wygniemy, nie okazuje dążności do przybrania pierwotnej postaci, zachowuje swą nową wygiętą postać trwale, tj. nawet i po uwolnieniu od obcego działania. Ale różnica taka pomiędzy stalą a ołowiem nie jest istotna i leży tylko w wielkości działającego ciężaru. Gdybyśmy wygięli pręcik ołowiany bardzo słabo, za pomocą bardzo nieznacznego ciężaru, przekonalibyśmy, że powraca on po uwolnieniu do pierwotnej postaci, objawia zatem sprężystość, tak samo jak stalowy. Z drugiej strony, gdybyśmy wygięli pręcik stalowy działaniem nadzwyczajnie znacznego, olbrzymiego ciężaru, wówczas i stalowy wygiąłby się trwale, utraciłby sprężystość, podobnie jak wprzódy ołowiany. Mówimy więc, że każde ciało jest sprężyste tylko do pewnej granicy; ta granica jest daleka dla stali, a niedaleka dla ołowiu. Każde ciało, często albo długotrwale gięte, wyginane, wyciągane, skręcane powoli „męczy się" czyli traci sprężystość, czego przykłady spotykamy często w życiu codziennem. —

Kauczuk jest ciałem, które nader trudno „zmęczyć" w ten sposób. Wiemy istotnie, że przedmioty wyrobione z kauczuku, poddają się łatwo zginaniu, wyginaniu, wyciąganiu, skręcaniu; lecz, uwolnione od tych i tym podobnych działań, powracają doskonale do pierwotnej postaci, choćby zmiany postaci, którym były poddane, były bardzo znaczne. Wiele osób tę własność kauczuku ma na myśli, mówiąc (jak to często słyszymy w mowie potocznej), że kauczuk „jest bardzo sprężysty". Obyte jednak używają wówczas wyrazu „sprężystość" w zupełnie innem znaczeniu niż to, w którem użyliśmy go w dwóch artykułach poprzednich i które jest jego właściwem, naukowem znaczeniem.

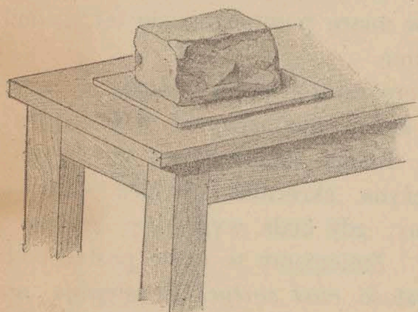
5 . Sprężystość ciał ciekłych.

Przypuśćmy teraz, że położyliśmy 2000 kg na tłok przyrządu z rys. 5; wskutek tego tłok obniżył się o 1 mm,

woda ścisnęła się więc o jedną setną część swej pierwotnej objętości. Dalej tłok nie poruszy się ani o najmniejszą część milimetra; woda stawia teraz opór, który równoważy ciężar 2000 *kg*. Powiadamy zatem, że w wodzie ściskanej pojawia się siła, która sprzeciwia się dalszemu ściskaniu; pod działaniem tej siły z jednej strony, a ciężaru z drugiej, tłok znajduje się w równowadze. Gdybyśmy nagle zdjęli ciężar, tłok poszedłby do góry, odepchnięty przez wodę, która wróciłaby do dawnej objętości. A zatem mieliśmy tutaj w wodzie siłę, zupełnie podobną do sprężystości w drzewie, w szkle, kauczuku lub stali. Lecz gdy w wodzie objawia się ona przy zmianie *objętości*, w ciałach stałych objawia się przy zmianach *postaci*. Możemy więc powiedzieć: *woda ma sprężystość objętości*. Podobnie jak woda, zachowują się i inne ciecze. Sprężystość objętości jest ogólną cechą ciał ciekłych. Jak już wiemy, ciała ciekłe nie stawiają oporu zmianie postaci; prędzej czy później każda ciecz (§ ~~31~~.) poddaje się działaniu siły, dążącej do zmiany jej postaci. A zatem *ciecze mają sprężystość objętości, lecz nie mają sprężystości postaci*. // 46

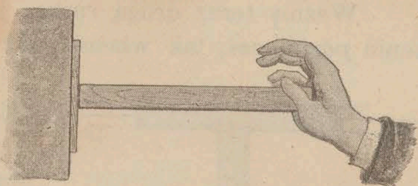
§ ~~38~~. Ciśnienie. // 52

Deseczka, leżąca na stole i dźwigająca ciężar na sobie (np. kamień, jak na rys. 39.) jest *przyciśnięta* do stołu, wywiera *ciśnienie* na [powierzchnię] stołu. Ciśnieniem nazywamy więc siłę, działającą na powierzchnię ciała. W przykładzie powyższym ciśnienie sprawia siła ciężkości; takie ciśnienie działa z góry na dół pionowo, ponieważ siła ciężkości działa w tym kierunku. Lecz i inne siły mogą sprawiać ciśnienie, np. siła naszych mięśni, siła sprężystości; a te siły mogą sprawiać ciśnienie i w innych kierunkach. Przyciskając np. deseczkę do ściany ręką, czy bezpośrednio, czy za pośrednictwem np. pręta (rys. 40, str. 35.), wywieramy na ścianę ciśnienie w kierunku poziomym.



Rys. 39.

Połóżmy tensam kamień (rys. 39.) raz na deseczkę, mającą 100 cm^2 pola, drugi raz na deseczkę, mającą 200 cm^2. Tasama siła rozpościera się w pierwszym razie na 100, w drugim razie na 200 cm^2. Zatem na 1 cm^2 wypadnie w pierwszym razie dwa razy więcej siły, niż w drugim. Widzimy zatem, że trzeba odróżniać siłę całkowitą, czyli *ciśnienie całkowite* na pewną powierzchnię, od *ciśnienia na jednostkę pola,* czyli od ciśnienia *jednostkowego*. Ciśnienie całkowite jest dla obu deseczek jednakowe, mianowicie równe ciężarowi kamienia. Ciśnienie jednostkowe jest dwa razy większe na mniejszej deseczce niż na większej. Tensam ciężar na deseczkach, mających 50 cm^2/ 25 cm^2 pola, dałby ciśnienie jednostkowe cztery/ ośm razy większe. Stąd łatwo zrozumieć, dlaczego nóż kraje: ostrze noża jest to powierzchnia o bardzo małem polu, więc siła naszych mięśni wytwarza na niem bardzo znaczne ciśnienie. Tosamo tłómaczy działanie nożyc, dłuta, piły a także stosunkową łatwość, z jaką gwóźdź lub igła wchodzą w ciała zbite.


Rys. 40.

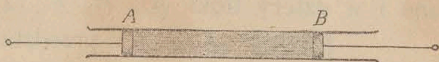
L lub
L lub

§ ~~39~~ 44. Ciśnienie cieczy.

44 53

Jak za pośrednictwem pręta można wywrzeć ciśnienie (§ ~~38~~ 44.), podobnież można je wywrzeć za pośrednictwem wody. Weźmy rurkę (rys. 41.) AB, pełną wody i zamkniętą tłokami, które przystają szczelnie do rurki, lecz łatwo ~~w niej~~ mogą się/ poruszać. Opieramy tłok A o deseczkę z rys. 40. i wywieramy siłę na drugi tłok B; wówczas/ za pośrednictwem wody przyciśniemy deseczkę do ściany/ *Zatem woda może przenosić ciśnienie.* Ciśnienie to nie ma tu nic wspólnego z ciężarem wody; ciśnienie działa poziomo, jeśli rurka leży poziomo, gdy tymczasem siła ciężkości działa na dół pionowo. Jakimże sposobem woda przenosi ciśnienie? Zważmy, iż unieruchomiliśmy tłok A, oparłszy go przez deseczkę o ścianę; zatem, usiłując wepchnąć tłok B, usiłujemy temsamem ścisnąć wodę, zmniejszyć jej objętość, jak w § ~~31~~. Nic dziwnego, że woda opiera się temu; woda ma sprężystość objętości (§ ~~37~~ 44.). Sprężystość wody

44 52



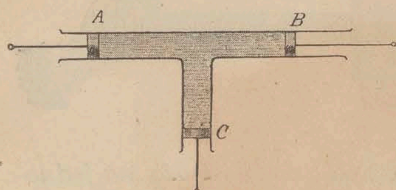
Rys. 41.

⊔ 8 / w niej

44 47.
44 51

opiera się naszemu działaniu na *B* a zarazem za pośrednictwem *A* sprawia ciśnienie na deseczkę i ścianę.

Weźmy teraz drugą rurkę, jaką rys. 42. przedstawia w położeniu *poziomem*, tak właśnie, jak gdyby rurka leżała na papierze. Opatrzona jest ona w boczne kolanko a w niem w tłok trzeci *C*, rozległością równy dwóm pierwszym. Umocujmy tłok *A*, tłokowi *C* pozwólmy poruszać się swobodnie i wciskajmy *B*; co się stanie? Woda będzie ustępowała przed *B* i będzie pchała przed sobą tłok *C*; albowiem w ten sposób będzie ona zmieniała *postać* tylko a nie *objętość* a temu woda nie sprzeciwia się (§ 51.). Przeciwnie, gdybyśmy umocowali i *C*, woda cisnęłaby nań taksamo, jak ciśnie na *A*. Zatem *i w bok woda przenosi ciśnienie.* Oczywista, że i na ściany rurki woda ciśnie taksamo jak na tłoki, mianowicie, że rozpycha rurkę o tyle, o ile na to pozwala sprężystość szkła czy innego materyału, z którego rurka jest zrobiona. Powiadamy więc, że woda nie tylko *przenosi* ale i *roznosi ciśnienie* na wszystkie strony. Tożsamo czynią wszystkie ciecze.



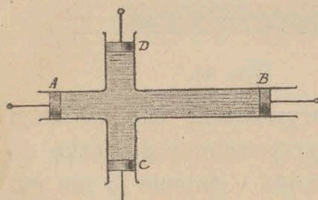
Rys. 42.

// 46

§ 10. Ciecz może wykonywać pracę.

// 54

Weźmy jeszcze jedną rurkę, opatrzoną w dwa poziome kolana i w cztery tłoki *A, B, C, D* jednakowo rozległe; rys. 43. przedstawia ją widzianą z góry. Co powiedzieliśmy o tłoku *C*, stosuje się także do czwartego tłoka *D*. A zatem, gdy wywieramy ciśnienie na *B* (rys. 43.), takież ciśnienie wywierane jest na *A*, na *C* i na *D*. Z jednego ciśnienia ~~robią~~ ~~się~~ trzy ciśnienia. Tego możemy dokonać zapomocą wody i tłoków, podobnie jak zapomocą dźwigni możemy podnosić do góry trzy kilogramy siłą ciężaru jednego kilograma (§ 11.). Ale czego *nie możemy* dokonać zapomocą dźwigni, to *stworzyć* choćby najmniejszą ilość pracy (§ 12.); i tego zapomocą wody i tłoków także dokonać *nie możemy*. Istotnie: wiemy, od czego zależy praca, jaką wykonywamy, pchając tłok, lub jaką tłok wyko-



Rys. 43.

H powstają więc tutaj

L 19 J z niczego T 27

nywa, pchając coś przed sobą. F Zależy ona zarazem od siły, która pcha (t. j. od całkowitego ciśnienia na tłok) i od długości drogi, którą tłok przebywa. Weźmy teraz trzy rurki: rurkę z dwoma tłokami AB (rys. 41.), z trzema ABC (rys. 42.) oraz z czterema $ABCD$ (rys. 43.); przypuśćmy, że w każdej wepchnęliśmy tłok B o 1 *cm*, dawszy swobodę ruchu wszystkim pozostałym. W rurce AB (rys. 41.) T tłok A L wysunie się nazewnątrz o centymetr; w rurce ABC (rys. 42.) każdy z dwóch tłoków A, C V wysunie się o pół centymetra, w rurce zaś $ABCD$ (rys. 43.) każdy z trzech tłoków A, C, D L wysunie się tylko o trzecią część centymetra. Zatem, im więcej tłoków, tem więcej ciśnień, ale tem krótsze drogi, które tłoki przebywają; pomnażając liczbę tłoków, ***nie zyskujemy*** więc bynajmniej *na pracy*, rozdrabniamy ją tylko.

F Jak wszelka wogóle praca,

T sam tylko L będzie cisnąć, lecz
V będzie cisnąć i każdy
L będzie wywierać ciśnienie, lecz każdy

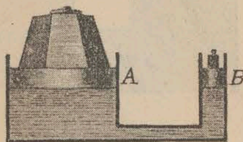
~~taksama zamiana~~

§ 41. Prasa hydrauliczna.

11 55

W rurce ABC (rys. 42.) tłoki A i C doznają każdy takiego ciśnienia, jakie wywieramy na B. Tak jest bez względu na to, czy A i C znajdują się daleko od siebie czy też blizko siebie. Zatem *tak będzie i wtedy,* kiedy je *połączymy* ze sobą i utworzymy z nich jeden tłok, dwa razy większy. Powiadamy więc: na tłok, dwa razy większy niż B, działa ciśnienie *całkowite*, dwa razy większe niż na B. Podobnie na tłok o polu trzy razy większem działa ciśnienie *całkowite*, trzy razy większe. Innemi słowy: ***ciśnienie na jednostkę pola jest wszędzie w cieczy jednakowe.***

Na tej zasadzie budowane bywają ***prasy hydrauliczne***, których zadaniem jest zamiana niezbyt znacznych całkowitych ciśnień, jakie człowiek może wywrzeć, na ciśnienia całkowite bardzo znaczne. Wystawmy sobie dwa walce, połączone ze sobą i w nich dwa tłoki, jak na rys. 44. Przypuśćmy, że tłok A ma pole 25 razy większe niż tłok B; w takim razie, położywszy na tłoku A 25 *kg*, dość będzie położyć na B 1 *kg*, ażeby osiągnąć równowagę. Tu zatem ciężarem, małoco większym nad 1 *kg*, możemy podnieść do góry 25 *kg*, podobnie jak na dźwigni (§ 11.); ale i tu nie zyskamy na *pracy*, gdyż trzeba będzie wcisnąć tłok B na dół o 25 *cm*, ażeby podnieść A do góry o 1 *cm*.



Rys. 44.

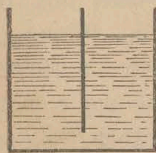
11 27

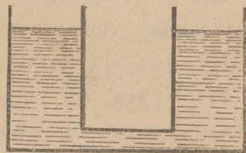
Widzimy zatem, że prasa hydrauliczna ma tensam cel jak inne maszyny, opisane poprzednio w rozdziale pierwszym, mianowicie zamianę pewnych danych postaci pracy na inne, dogodniejsze postaci; że ~~jednak~~ nie ma na celu zaoszczędzenia pracy i tego na celu mieć nie może, albowiem to jest wogóle niemożliwe (zob. §§ 27 i 35.)

§ 42. Naczynia połączone.

11 56

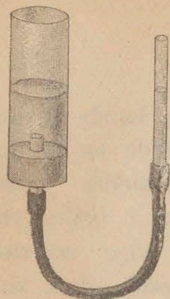
Do naczynia z wodą wprowadźmy ściankę, nie dotykając nią dna (rys. 45.); powierzchnia wody nie zmienia się przez to. Lecz przez wprowadzenie ścianki rozdzieliliśmy poprzednie naczynie na dwa mniejsze naczynia, połączone ze sobą od spodu; istotnie: naczynie z rys. 45. nie różni się tu właściwie od naczyń, połączonych zapomocą rurki, jakie widzimy na rys. 46. Powiadamy zatem: w naczyniach połączonych


Rys. 45.


Rys. 46.

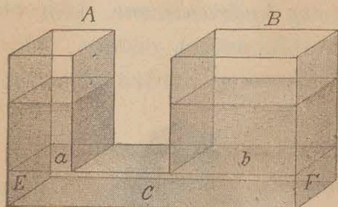
poziomy cieczy stoją jednakowo wysoko. Tak będzie oczywiście, czy naczynia są jednakowego czy różnego przecięcia; ~~zawsze w nich~~ ciecz stoi / na jednakowym poziomie, jak też stać będzie w naczyniu, rys. 45., choćbyśmy posunęli ściankę ku brzegowi. Tak np. w dwóch rurkach szklanych (rys. 47.), z których jedna jest szersza od drugiej (łączymy je zapomocą korka i rurki kauczukowej, jak pokazuje rysunek), woda stoi jednakowo wysoko. Zniżając węższą rurkę, zobaczymy, że woda tryska z niej do góry; na tej zasadzie działają wodotryski, a także urządzenia wodociągowe w miastach.

/ w nich zawsze



Rys. 47.

Zastanówmy się teraz, dlaczego w naczyniach połączonych ciecz musi stać jednakowo wysoko. Wystawmy sobie dwa naczynia, połączone kanałem poziomym, jak na rys. 48; przypuśćmy, że pierwsze A ma 10, a drugie B ma 20 cm^2 w przecięciu; więc ~~tez~~ np. płaszczyzna a ma 10, płaszczyzna b ma 20 cm^2 pola. Jakie ciśnienia wywiera woda na te płaszczyzny? Płaszczyznę a uciska ciężar wody, stojącej nad nią w naczyniu A, podobnież płaszczyznę b uciska ciężar wody, stojącej nad nią w naczyniu B. Widzimy, że wody w naczyniu B jest dwa razy tyle, ile w A, a zatem na płaszczyznę b działa całkowite ciśnienie dwa razy większe, niż na płaszczyznę a. I tak właśnie być powinno według § ~~44~~.; powiedzieliśmy tam: na tłok ~~(lub na płaszczyznę), rzecz nie~~ dwa razy większy (lub na płaszczyznę dwa razy większą, jak tutaj, co nie stanowi istotnej różnicy) ~~musi~~ powinno działać ciśnienie całkowite dwa razy większe, ~~dwa razy większe~~, jeśli wszystko, ciecz i tłoki, ma być w równowadze.



Rys. 48.

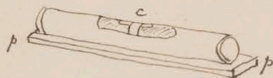
11 55.

Dlaczego zaś wody w naczyniu B (nad płaszczyzną b) jest dwa razy tyle, ile w naczyniu A (nad a)? Dlatego, że w B i w A woda stoi jednakowo wysoko; ponieważ b ma pole dwa razy większe niż a, więc w razie *nierówności* poziomów stosunek ilości wody i stosunek ciężarów byłby inny. Np. gdyby w a woda stała wyżej, całkowite ciśnienie na a byłoby więcej niż połową całkowitego ciśnienia na b, zatem w kanale ECF ciśnienie na jednostkę pola nie byłoby wszędzie jednakowe, lecz większe w lewym końcu. Wówczas woda nie mogłaby być w równowadze, lecz musiałaby popłynąć na prawo, aż wysokości poziomów w naczyniach wyrównałyby się. Zupełnie tożsamo rozumowanie możemy zastosować oczywiście do przyrządów poprzednich, wyobrażonych na rysunkach 45, 46, 47. Widzimy więc, że w naczyniach połączonych poziomy cieczy ustanawiają się jednakowo wysoko dlatego, że do równowagi cieczy potrzeba, ażeby ciśnienie na jednostkę pola było wszędzie w cieczy jednakowe.

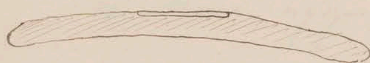
Do rurek połączonych (rys. 47.) nalejmy rtęci: stanie w nich jednakowo wysoko. Nalejmy 10 *gr* wody nad rtęć w rurce węższej; jeśli rurka szersza ma np. 5 razy większą średnicę, więc 25 razy większe / przecięcie, będziemy musieli nalać do niej, nad rtęć, 250 *gr* wody, ażeby przywrócić równość rtęciowych poziomów. W ten sposób zbudowaliśmy przyrząd podobny, jak na rys. 44.: rtęć gra tu rolę cieczy a woda nad rtęcią działa tutaj tak, jak tam ciężary, położone na tłokach.

/ poprzeczne

Na zasadzie ~~wyżej podanej~~ powyższej polega budowa libeli (rys.), przyrządu, służącego do sprawdzania, ~~[illegible]~~ azali dana powierzchnia jest pozioma. W oprawie mosiężnej zamknięta jest rurka szklana, słabo wygięta (rys.) i prawie zupełnie wypełniona alkoholem, tak iż bańka, która pozostaje w rurce, wypływa ku górze, ~~[illegible] ku środkowi rurki~~. Gdy podstawka libeli pp ma położenie poziome, bańka ustanawia się dokładnie wpośrodku c rurki (rys.)



Rys.



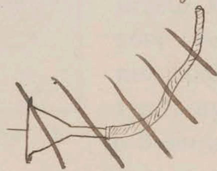
Rys.

§ ~~43~~ 11. Im głębiej w cieczy, tem większe ciśnienie.

II 57

Gdybyśmy ustawili stos cegieł, leżących jedna na drugiej, wówczas każda cegła dźwigałaby na sobie wszystkie nad nią leżące, zatem byłaby przyciśnięta ciężarem tem większym, im położona jest niżej, im dalej od wierzchu. W naczyniu z wodą dzieje się podobnie. Każda warstwa wody dźwiga na sobie warstwy, nad nią leżące, więc jest przyciśnięta ciężarem tem większym, im niżej jest położona w cieczy, im dalej od powierzchni. Ciśnienie tego ciężaru, jak wszelkiego ciężaru, jest z góry na dół pionowe; ale warstwa, która doznaje tego ciśnienia, nie tylko *przenosi* je na dół, lecz i *roznosi na wszystkie strony*, rozprowadza i wywiera je we wszystkich kierunkach; albowiem ciecze czynią tak zawsze (§ ~~39~~.). Powiadamy zatem: *ciśnienie w cieczy wynika z jej ciężkości; dlatego też, im głębiej w cieczy, tem jest większe. Ciśnienie to, chociaż wynika z ciężkości cieczy, działa nie tylko na dół pionowo, lecz zarówno we wszystkich kierunkach.* Możemy to sprawdzić w następujący sposób. Mał~~ą~~y ~~szklankę~~ lejek szklany obwiązujemy mocno cienką błoną kauczukową, do której przylepiamy lekką wskazówkę; na rurkę czyli na wypływ lejka nakładamy grubościenną rurkę kauczukową ~~(rys.)~~. ~~Czy to~~ Przyrząd ~~w~~ tak przygotowany zanurzamy do dość głębokiego naczynia z wodą, zważając na to,

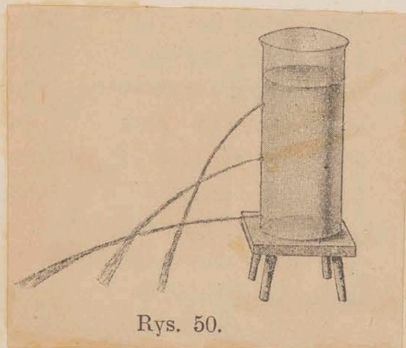
II 53



~~Rys.~~

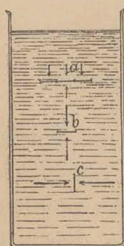
ażeby otwór rurki kauczukowej wystawał po nad powierzchnię cieczy. Zobaczymy, że błona wydyma się nazewnątrz lejka; im głębiej zanurzamy lejek, tem bardziej ~~błona~~ wydyma się; ~~a~~ nie stanowi ~~to~~ żadnej przytem różnicy, czy trzymamy lejek błoną na dół, czy w bok, czy do góry, byle tylko na ~~jednym~~ ~~[illegible]~~ tymsamym poziomie pod powierzchnią. ~~[illegible]~~ Inne doświadczenie, o podobnym celu, wyobraża rys. ...

Uczy ono, po pierwsze, że woda ciśnie nietylko na dół, ale i w bok; powtóre, że ciśnie tem znaczniej, im dalej od powierzchni. Istotnie, strumień z dolnego otworu dobiega dalej, niż strumień z górnego; stąd wnosimy, według § 41, że wypchnęła go siła znaczniejsza.

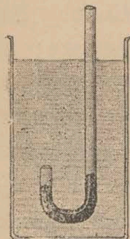

Rys. 50.

⊔ Wyobraźmy

~~Wystawmy~~ sobie naczynie z wodą, widziane z boku; rys. 51. przedstawia je jakby przecięte płaszczyzną pionową. Pomyślmy ~~sobie~~ w niem centymetr kwadratowy a, leżący poziomo, np. o 3 *cm* pod powierzchnią. Aż do tej powierzchni stanęłyby więc na nim trzy sześciany, z których każdy miałby objętość 1 cm^3, ważyłby przeto 1 gram. A zatem na kwadracik a działa od góry ciśnienie ciężaru 3 gramów. Ale takież ciśnienie działa na sąsiednie kwadraciki, leżące obok a na tymsamym poziomie, bo i one także znajdują się o 3 *cm* od powierzchni; to ciśnienie ⌈ na kwadraciki sąsiednie ⌉ przenosi się pod a, działa na a pionowo do góry (§ 39., § 42.) [⊔ 53 ⊓ 57] i równoważy się tam z pierwszem ciśnieniem, które działało pionowo ku dołowi. Weźmy takisam kwadracik b, równy także 1 cm^2, lecz głębiej np. o 6 *cm* od powierzchni położony. Działa nań ciśnienie 6 gramów od góry ku dołowi i równocześnie takież ciśnienie od dołu ku górze. Weźmy trzeci takiżsam kwadracik c, stojący pionowo o 9 *cm* pod powierzchnią; działa nań ciśnienie 9 gramów w stronę prawą i takież ciśnienie w lewą.



Rys. 51.


Rys. 52.

Weźmy rurkę szklaną, zgiętą w dwa nierówne ramiona (rys. 52.); nalejmy do niej rtęci i wprowadźmy pod wodę, nie zanurzając otworu dłuższego ramienia. Zobaczymy, że rtęć pod-

nosi się w prawem, dłuższem ramieniu; a mianowicie: gdy poziom lewy jest zanurzony o 13·5 *cm* pod powierzchnię wody, różnica poziomów rtęci jest równa 1 *cm*. Jeśli zanurzymy poziom lewy o 27 *cm* pod powierzchnię, różnica poziomów podwoi się i wyniesie 2 *cm*. Jeśli zanurzymy rurkę trzy razy głębiej, różnica poziomów wyniesie 3 *cm*. Dlaczego tak się dzieje, rozumiemy z poprzedzającego. Dlaczego zaś poziomy rtęci oddalają się od siebie właśnie o 1 *cm*, ile razy poziom w krótszem ramieniu oddalimy o 13·5 *cm* od powierzchni wody? Dzieje się to dlatego, że różnica w słupach rtęci ma równoważyć słup wody, zaczynający się od poziomu rtęci w krótszem ramieniu i sięgający powierzchni; rtęć zaś ~~jest~~, jak wiadomo (§ 36.) jest 13·5 razy gęstsza od wody, czyli 13·5 razy cięższa od niej w jednakowej objętości.

§ 58. O powierzchni cieczy.

Jak wiemy, woda w szklance ma powierzchnię poziomą, kiedy jest w spoczynku. (Istotnie, wyobraźmy sobie ~~[illegible]~~ wodę w położeniu takiem, jakie wyobraża rys. . Łatwo zrozumieć, że woda nie może trwać w takiem położeniu. Wystawmy sobie np. stojący pionowo w wodzie kwadracik a; na rys. widzimy go z boku. Woda po prawej stronie kwadracika a znajduje się dalej od powierzchni niż woda po lewej, a zatem z prawej strony a woda ciśnie silniej niż z lewej (por. § 57.), więc nie może zostać w tem położeniu, zupełnie podobnie jak wahadło na rys. 8., § 16, nie może zostać w położeniu OL. Woda popłynie ze strony prawej na lewą, jak wahadło poruszy się od L do K. Gdyby ciężkość kulki wahadła w położeniu OL działała w kierunku LP, mielibyśmy równowagę w tem położeniu. Podobnie, gdyby ciężkość działała w kierunku CN (rys.) mielibyśmy równowagę wody w położeniu AB. Ale tak nie jest; ciężkość działa zawsze na dół pionowo. Widzimy więc, że woda może być w równowadze jedynie ~~tylko~~ w położeniu HH (rys.), ~~tj. wtedy, gdy~~ w którem jej powierzchnia swobodna ułożyła się prostopadle do kierunku g działania siły ciężkości.

Rys.

Rys.

Rys.

~~[illegible]~~ W szklance powierzchnia wody jest płaska i pozioma; lecz powierzchnia mórz i oceanów na ziemi jaki ma kształt? Wiemy, że ziemia ma kształt kuli; i że wody mórz i oceanów pokrywają znaczną część jej powierzchni (jak to wyobraża rys. , na którym głębokość mórz i oceanów oraz wyniosłość lądów jest oczywiście znacznie przesadzona) ~~[illegible] kuli) [illegible]~~. A za-

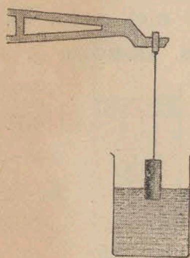
tem powierzchnia wód w oceanach[3] i morzach[1] jest wypukła, mianowicie kulista. Łatwo to zrozumieć na mocy poprzedzającego. Z § 15-go wiemy, że siła ciężkości w każdem miejscu powierzchni ziemi ma kierunek promienia ziemskiego w tem miejscu; w miejscu A np. (rys.) działa wzdłuż AC, w miejscu B wzdłuż BC. Powierzchnia ~~[illegible]~~ wody więc w miejscu A musi być, według poprzedzającego, ~~[illegible]~~ kierunek aa, prostopadły do AC; w miejscu B ~~[illegible]~~ kierunek bb, prostopadły do BC i t. d. ~~Zbiorowiskiem zaś~~ Otóż obwód koła, AB np., nie jest niczem innem, jak zbiorowiskiem podobnych nieskończenie krótkich linij, jak aa, bb i t. d. prostopadłych do promieni CA, CB i t. d. Powierzchnia mórz i oceanów jest więc wypukła i kulista, ~~[illegible]~~ dlatego, że układa się wszędzie prostopadle do kierunku działania ciężkości. —

§ ~~14~~ 11. Ciecz usiłuje wyprzeć ciało zanurzone.

11 59

Zawieśmy na wadze walec (rys. 53.) i zrównoważmy go ciężarkami po drugiej stronie. Zanurzając walec do wody, zobaczymy, że ciężarki przeważają, tak zupełnie, jak gdyby walec był stracił na ciężarze. Jakim sposobem tak się dzieje? Przypomnijmy sobie (§ ~~33~~.), że kiedy walec wkracza do wody, woda podnosi się dokoła w naczyniu. A zatem walec, obniżając się w wodzie, musi podnieść pewną ilość wody do góry; dlatego ciężar walca musi przezwyciężyć ciężar wody podnoszonej. Zupełnie podobnie, gdy na bloku, na dźwigni albo na wadze większy ciężar przeważa inny mniejszy, wówczas go wprawdzie przeważa, ale sam przez to traci tyle, ile ma do zwalczenia. Np. jeśli 3 kilogramy, obniżając się, muszą podnosić jeden kilogram po drugiej stronie dźwigni lub wagi, wówczas działają one tak, jak gdyby były dwoma kilogramami. Taksamo walec, ważący np. 75 gramów, jeśli, obniżając się musi podnieść np. 10 gramów wody do góry, działa na wagę tak, jak gdyby miał tylko 65 gramów V

11 47



Rys. 53.

V ciężaru.

~~Lecz~~ Jakąż ilość wody musi podnieść do góry walec, gdy obniża się? Oczywiście tyle centymetrów sześciennych, ile centymetrów sześciennych ze swej własnej objętości zanurza pod wodę, a jeśli zanurza się cały, to tyle centymetrów sześciennych, ile ich posiada we własnej objętości. Lecz ile centymetrów sześciennych wody walec podnosi, tyle gramów pozornie traci na ciężarze swoim. Powiadamy więc: *ciało, zanurzone w cieczy, traci pozornie tyle na ciężarze, ile waży ciecz, której miejsce zajmuje.* Sprawdźmy to. Zważmy ciało *C* najprzód w sposób zwykły, potem zanurzmy je do naczynia, rys. 34., tak jak opisano w § ~~13~~. i zważmy je powtórnie, zanurzone w wodzie. Przekonamy się, że ciało zanurzone zachowuje się tak, jak gdyby ważyło mniej, a mianowicie o tyle mniej, ile waży woda, wypchnięta przez nie do naczynia *D* (rys. 34.).

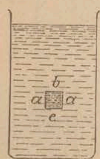
U 45

200 zł

Każda ciecz usiłuje więc wyprzeć do góry wszelkie zanurzone w niej ciało. Zkąd bierze się ta siła? Możemy na to odpowiedzieć na zasadzie § II. Wystawmy sobie mały sześcian np. szklany, zanurzony w wodzie (rys. 55., na którym naczynie i sześcian widzimy z boku). Przypuśćmy, że sześcian ma po 1 centymetrze szerokości, długości i wysokości; że ścianka górna *b* leży pod powierzchnią wody o 4 *cm* odległości; w takim razie ścianka dolna *c* leży pod nią o 5 *cm* odległości. Zatem według § II. ciśnienie wody na górną ściankę *b* równa się ciężarowi 4 gramów a ciśnienie wody na dolną ściankę *c* równa się ciężarowi 5 gramów. Pierwsze ciśnienie działa z góry na dół, drugie z dołu do góry. Te ciśnienia nie równoważą się, skoro drugie, działające od dołu, jest większe; na sześcian działa ostatecznie z dołu do góry siła, równa ciężarowi 1 grama. (Na ścianki boczne *a*, *a* działają równe ciśnienia, wprost przeciwne sobie, więc znoszą się one dokładnie). To zatem jest przyczyną parcia do góry, którego doznaje nasz sześcian i wskutek którego, zajmując objętość 1 cm^3, traci pozornie 1 gram na ciężarze. Gdyby miał objętość np. 15 cm^3, traciłby pozornie 15 gramów na ciężarze.

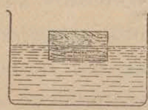
II 57

II 57



Rys. 55.

Wystawmy sobie (rys. 56.) kawałek drzewa, przypuśćmy o objętości 10 cm^3. Jeśli zanurzymy go do wody, woda wypiera go do góry siłą 10 gramów. Tymczasem kawałek drzewa o objętości 10 cm^3 waży tylko 5 gramów (§ II.); siła ciężkości ciągnie go na dół siłą 5 gramów. Zatem kawałek drzewa nie może tonąć w wodzie, ani bujać w niej swobodnie, lecz musi iść do góry. Gdy dojdzie do powierzchni, kawałek drzewa pocznie wynurzać się z wody; im bardziej się wynurzy, tem mniejszego parcia do góry będzie doznawał od cieczy. Oczywista, że przestanie wynurzać się wtedy, kiedy parcie cieczy stanie się równe jego ciężarowi. Powiadamy zatem: *ciało pływające zanurza się tak, że ciężar cieczy, której miejsce zajmuje, jest równy całemu jego ciężarowi.* Możemy to sprawdzić zapomocą przyrządu, przedstawionego na rys. 34., § II. Napełniwszy naczynie *A* wodą aż do ustania wypływu, kładziemy na wodę kawałek drzewa lub korka. Ciało to wypchnie do *D* tyle gramów wody, ile samo waży.


Rys. 56.

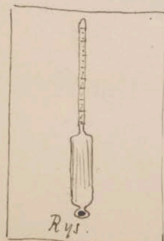
II 36

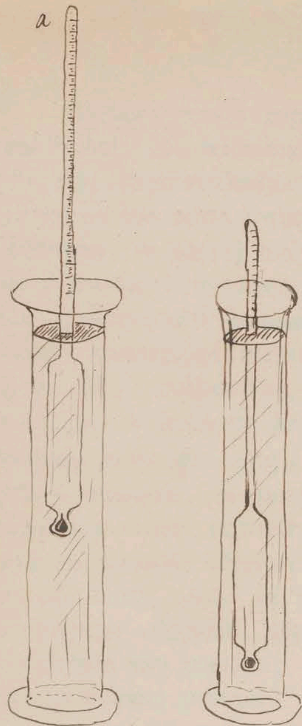
II 45

II Łatwo ~~teraz~~ wytłumaczyć, dlaczego pod wodą poruszamy ręce i nogi tak swobodnie, jak gdyby były pozbawione ciężaru; dlaczego dźwigamy łatwo pod wodą ciężary, których nie możemy wznieść po nad wodę; dlaczego duża pusta beczka może wydobyć z dna rzeki ciężki kamień; dlaczego kawałek mosiądzu lub szkła tonie a kubek mosiężny lub butelka szklana nie tonie; dlaczego trudno jest utrzymać się na nogach w rzece o wartkim prądzie, jeśli woda sięga do szyi; dlaczego lód pływa po wodzie a żelazo po rtęci (zob. § II.). Na tejsamej zasadzie również zrozumieć działanie przyrządu, służącego do pomiarów gęstości cieczy, który nosi nazwę areometru lub hydrometru. Jest to (rys.) naczyńko szklane, ze wszystkich stron zamknięte, obciążone niezbyt znaczną ilością rtęci. Przypuśćmy, że taki areometr waży np. 50 gramów. Jeśli umieścimy go w wodzie (rys. a), tedy, według prawdła, areometr zanurzy się w taki sposób, że zajmie miejsce 50 gramów wody; a więc ze swej całkowitej objętości zanurzy pod wodę 50 cm^3.

II Na zasadzie powyższej objaśnić

II 36 V Łatwo

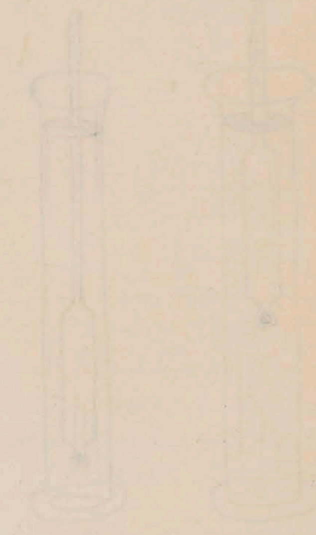

Rys.



Rys.

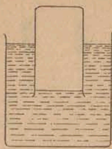
Wprowadźmy teraz tensam areometr np. do alkoholu. Według prawidła, areometr musi znów wypchnąć 50 gramów cieczy. Ale 50 gramów alkoholu nie zajmuje 50 cm³; według § 36-go, jeden cm³ alkoholu posiada masę 0.8 gm zatem 50 gm alkoholu zajmuje $\frac{50}{0.8}$ czyli (około 62 cm³) Widzimy, że areometr zanurzy się głębiej w alkoholu, niż w wodzie (Rys. b). Gdybyśmy zatem nie znali gęstości (cieczy badanej), moglibyśmy ją wyliczyć z zanurzania się w nim areometru (i taki też jest użytek tego przyrządu.) ~~Przypuśćmy (np., że areometr,~~ ~~który w wodzie zanurza się do 200 cm³, zanurza się w danym okazie np. oliwy do 222 cm³; wnosimy stąd, że gęstość oliwy jest $\frac{200}{222}$ czyli 0.9 mniej więcej. Do mierzenia objętości, zanurzającej się w (różnych cieczach), służy podziałka na szyjce areometru; częściej wszakże na szyjce areometru znajdujemy podziałkę, wskazującą odrazu gęstość cieczy, w której areometr zanurzył się aż do każdej danej na niej kreski.~~

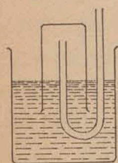
$$\frac{500}{8} = \frac{250}{4} = 62$$



§ 45. Powietrze.

Bardzo często zapominamy o powietrzu, w którem jesteśmy zanurzeni. Nie widzimy powietrza, nie posiada ono zapachu, zazwyczaj nie przeszkadza naszym ruchom; dlatego zwracamy na nie mało uwagi. Naprzykład powiadamy, że szklanka, w której nic nie dostrzegamy, jest *próżna* czyli *pusta*. Tymczasem rzeczywiście nie jest ona pusta; zawiera ona ~~coś, co~~, gdy jest ściskane, stawia opór. Zanurzając szklankę (do wody) (dnem do góry) (rys. 57.), zobaczymy, że woda nie wchodzi do szklanki; poziom jej w szklance jest niższy, niż nazewnątrz szklanki. Tak ~~być nie~~ mogło według § 42., gdyby na wodę w szklance nie działało jakieś ciśnienie, nie pozwalające wyrównać się obu poziomom. Powiadamy zatem: powietrze stawia opór, gdy jest ściskane; *powietrze ma sprężystość objętości* (§ 37.). Powietrze stawia tu opór dlatego, że nie może ujść, że wdzieranie się wody do szklanki musiałoby zmniejszyć *objętość*, jaką powietrze zajmuje. Lecz *postaci* własnej powietrze nie posiada, podobnie jak nie posiada jej woda. Zmienione w swej postaci, nie okazuje ono dążności do przybrania jej napowrót, jak to czyni stal albo kauczuk. Powietrze nie ma więc sprężystości postaci. Pomyślmy, jak dalece bylibyśmy skrępowani w codziennych naszych czynnościach, gdyby powietrze miało sprężystość postaci. Pozwólmy ujść powietrzu, zawartemu w szklance, rys. 57., wprowadźmy np. szklankę razem z rurką, jak na rys. 58., a zobaczymy, że woda podnosi się w szklance do poziomu tegosamego, na jakim stoi dokoła.


Rys. 57.


Rys. 58.

powietrze, które,

nie

= by być,

odrazu — do wody, — to — widzimy,

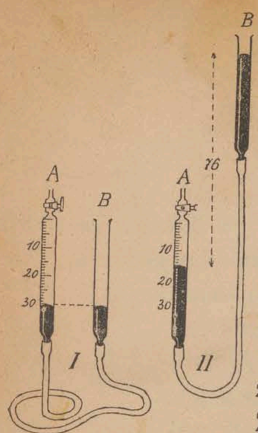
= że =

§ 46. Ściśliwość powietrza.

Powietrze zatem ma sprężystość objętości, jak woda; zobaczmy, jak znaczną ma sprężystość objętości. Wiemy, że woda jest bardzo mało ściśliwa (§ 47). Powróćmy do przyrządu (rys.), który posłużył w § 47 do unaocznienia małej ściśliwości wody. Gdyby w tymsamym dokładnie przyrządzie zamiast wody było powietrze, (wówczas nie potrzebaby) 2000 kg (zob. § 47), dość byłoby położyć $\frac{1}{10}$ kg czyli 100 gramów, ażeby wcisnąć tłok o 1 mm ku dołowi. Widzimy, że powietrze jest znacznie łatwiej ściśliwe, niż woda. Gdybyśmy położyli 2000 kg na tłok w walcu, zawierającym powietrze, ścisnęłoby się ono prawie do $\frac{1}{200}$-ej części swej objętości pierwotnej, t. j. tłok zbliżyłby się do dna walca aż na wysokość $\frac{1}{2}$ mm; Ale, po tem ściśnięciu, powietrze stawiałoby tak ogromny opór, czyli wywierałoby (na tłok) od dołu tak ogromne ciśnienie, że ciężar 2000 kg zostałby przez nie zrównoważony i tłok nie mógłby już posunąć się niżej ani o najmniejszą część milimetra.

Powiedzieliśmy, że (doświadczenia powyższego) nie można wykonać; niepodobna ażeby tłok, chodząc zupełnie bez tarcia, przystawał szczelnie;

Doświadczenia tego nie można (wykonać) (rzeczywiście) w tak prosty sposób; przytaczamy je tylko dla unaocznienia różnicy w ściśliwości powietrza a wody.



Rys. 59.

dlatego zastąpmy tłok wraz z ciężarem przez słup rtęci. Zbudujmy przyrząd, jaki przedstawia rys. 59. Rurka *A*, opatrzona kurkiem, ma podziałkę, wskazującą, ile zawiera się w niej *cm*³, poczynając od kurka. Zapomocą wytrzymałej rurki kauczukowej rurka ta łączy się z drugą *B*. Otwieramy w *A* kurek i doprowadzamy rtęć w rurce np. do liczby 30. Oba poziomy rtęci stoją jednakowo wysoko (rys. 59., I). Zamykamy teraz kurek; zatem w *A* zamknęliśmy pewną ilość powietrza takiego, jakie nas dokoła otacza, czyli *atmosferycznego*; tę ilość powietrza będziemy ściskali. Podnosimy rurkę *B* i widzimy: 1) że objętość powietrza w *A* zmniejsza się; 2) że odległość pomiędzy poziomami rtęci zwiększa się (rys. 59, położenie II). Zobaczmy jakich słupów rtęci potrzeba,

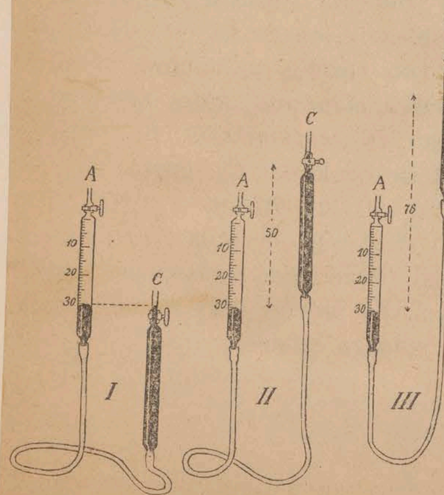
ażeby powietrze, uwięzione w przyrządzie, ścisnąć do dwóch trzecich, do połowy, do jednej trzeciej objętości pierwotnej; podnośmy rurkę *B*, dopóki rtęć w *A* nie dojdzie do żądanej kreski na podziałce. Przekonamy się, że pionowa odległość pomiędzy poziomami wyniesie 38 *cm*, gdy w *A* rtęć dojdzie na podziałce do „20"; że wyniesie 76 *cm* ~~i nareszcie 152 cm~~, gdy w *A* rtęć dojdzie na podziałce do „15"; że wyniesie nareszcie 152 cm, gdy w A rtęć dojdzie do kreski „10". Zobaczymy dalej (§), co te liczby znaczą.

Część rurki A pomiędzy rtęcią a kurkiem możemy teraz wypełnić wodą, zamiast ~~jak przed chustą~~ powietrzem; powtórzmy wówczas takiesame doświadczenia i pomiary, jak opisane przed chustą, a przekonamy się, że pod działaniem ciśnienia słupów rtęciowych, wynoszących 38 cm, 76 cm, a nawet 152 cm, woda ściska się tak nieznacznie, że niepodobna jest zauważyć ~~z pewnością~~ zmniejszenia się jej objętości. Jeśli poziom rtęci (w A), przy równości obu poziomów, stał ~~[illegible]~~ na podziałce „30", tedy nie podniesie się ocenialnie ponad tę podziałkę, ~~nawet i wtenczas~~, gdy poziom w B znajduje się o 152 cm wyżej ~~od niego. Widzimy zatem ostatecznie, że~~ Powietrze jest znacznie łatwiej ściśliwe, czyli znacznie bardziej ściśliwe, niż woda.

§ 47. Ciśnienie powietrza.

Przekonaliśmy się, że ilość powietrza, jaką zamknęliśmy w rurce *A* pomiędzy rtęcią a kurkiem, wywiera pewne ciśnienie, gdy zajmuje objętość 20 *cm*³. Powstaje pytanie, czy nie wywiera ona już wówczas ciśnienia, gdy zajmuje pierwotną swą objętość 30 *cm*³? Wprawdzie widzimy wówczas oba poziomy na wysokości jednakiej (rys. 59., I); ale możemy to wytłómaczyć obecnością powietrza także i w | rurce *B*. Bo jeśli zamknięte w *A* powietrze ciśnie na rtęć, tedy także powietrze, znajdujące się w *B*, ciśnie na rtęć, mianowicie ciśnie równie silnie, skoro w *A* zamknęliśmy zwykłe powietrze atmosferyczne. Żeby się więc przekonać, czy powietrze w *A* (rys. 59.) wywiera ciśnienie,

| otwartej



Rys. 60.

należałoby doświadczenie tak urządzić, żeby nad rtęcią w *B* **nie było** wcale powietrza. Możemy tego dopiąć, biorąc zamiast otwartej rurki *B* rurkę *C*, zaopatrzoną w kurek (rys. 60.). Najprzód obniżamy rurkę *C* tak, że rtęć przechodzi w niej po za kurek i nieledwie przelewa się górą (rys. 60., I). W tem położeniu **zamykamy** kurek *C* i podnosimy rurkę *C* do góry. (Kurek *A* może być przytem bądź otwarty, bądź zamknięty). Podnosząc rurkę *C*, widzimy, że rtęć w niej nie opada; możemy podnieść kurek *C* o 20, o 50, nawet o 70 centymetrów powyżej rtęci w *A*, a rtęć w *C* nie opadnie (rys. 60, II). Podnieśmy↓ jeszcze wyżej; np. tak, żeby kurek *C* był wzniesiony o metr ponad rtęć w *A*. Wówczas stanie się coś nowego. Rtęć w *C* odrywa się od kurka, opada i zatrzymuje się na wysokości 76 *cm* ponad poziomem w *A* (rys. 60, III). Jeśli podniesiemy rurkę *C* jeszcze wyżej, poziom rtęci nie podniesie się w niej, ani się nie zniży, lecz zostanie wzniesiony o 76 *cm* ponad poziom w *A*. *Powiadamy, że w rurce C, pomiędzy rtęcią a kurkiem, mamy teraz próżnię.* Istotnie, powietrze tam dostać się nie mogło ani przez kurek (jeśli jest szczelny), ani przez rtęć, ani przez szkło. Zresztą, opuszczając teraz rurkę *C* na dół, dostrzegamy, że rtęć mocno uderza o szkło, wydając odgłos dziwnie suchy; znak, że tam niema powietrza, które jakby poduszka łagodziłoby uderzenie rtęci. Czemuż w położeniu III. (rys. 60.) poziom rtęci w *C* trzyma się o 76 *cm* wyżej od poziomu w *A*? Co podtrzymuje słup rtęci, 76 *cm* wysoki? Skoro pomiędzy rtęcią a kurkiem w *C* jest próżnia, przeto tam niema żadnego ciśnienia na rtęć, więc ciśnienie powietrza w *A* jest powodem różnicy poziomów. *Zwykłe* Γ*powietrze* (jakie nas otacza) ***wywiera ciśnienie, które może podtrzymywać słup rtęci o wysokości 76 centymetrów.*** Rozumiemy teraz, dlaczego rtęć nie odrywała się od kurka *C*, dopóki był on wzniesiony nad poziom w *A* o 20, 50 lub 70 *cm* (rys. 60, II). Rozumiemy także dlaczego, skoro rtęć się oderwała i próżnia się utworzyła, dalsze podnoszenie rurki *C* nie miało wpływu na wzniesienie górnego poziomu nad dolnym. Bo próżnia, czy zajmuje małą objętość, czy dużą, nie wywiera żadnego ciśnienia.

↓ rurkę *C*

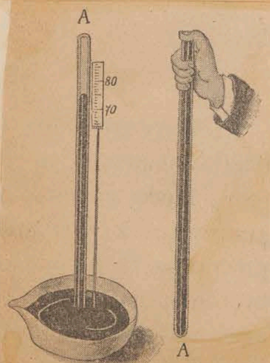
Γ atmosferyczne

§ 48. Barometr.

Doświadczenie poprzednie można inaczej wykonać. Rurkę *A* (rys. 61.), ~~[illegible]~~ u jednego końca zamkniętą, u drugiego otwartą, o długości przenoszącej 76 *cm*, wypełniamy rtęcią. Następnie zamykamy ją palcem, przewracamy i wprowadzamy pod rtęć do płaskiego naczynia; odejmujemy palec, gdy otwór rurki ~~się~~ zanurzył V. Rtęć spada w rurce *A* i zatrzymuje się o 76 *cm* nad poziomem w płaskiem naczyniu. Możemy przekonać się o tem zapomocą krótkiej podziałki *S*, do której przytwierdziliśmy prosty drut stalowy, długi na 65 *cm*. Obraz drutu odbija się w rtęci, łatwo więc zobaczyć, kiedy dotyka jej zwierciadła. Powiadamy, że przyrząd ~~ten~~ jest tylko inną postacią przyrządu, przedstawionego na rys. , III. Ciśnienie powietrza na rtęć w płaskiem naczyniu podtrzymuje tu słup rtęci, podniesiony w rurce A, z powodu, że nad rtęcią w A jest próżnia; zupełnie podobnie ciśnienie powietrza na lewy (w dawniejszym) poziom przyrządzie (rys. , III) podtrzymywało prawy poziom wzniesiony wyżej o 76 cm. W obu razach ciśnienie atmosferycznego powietrza równoważy ciężar podniesionego słupa rtęci.

V się pod rtęcią w naczyniu.

Gdybyśmy wzięli w przyrządzie, wyobrażonym na rys. 61, rurkę



Rys. 61.

~~rurkę~~ szerszą, np. rurkę B o przecięciu dwa razy większem niż przecięcie ↑ A, czy słup ~~rtęci~~ podniesiony ⌊ będzie miał również 76 *cm*? Gdyby tak było, słup w rurce B zawierałby dwa razy tyle rtęci, ważyłby zatem dwa razy więcej niż słup w A; mogłoby się więc wydawać, że w B słup powinien być niższy; *ale tak nie jest*. Ciężar słupa w B będzie Γ dwa razy większy niż ciężar słupa w A; ale ⌋ też Ɣ będzie się rozpościerał na *pole* dwa razy większe. *Ciśnienie* zatem *na jednostkę pola* (§ 38.) będzie jednakowe. Możemy więc powiedzieć, że *miarą ciśnienia powietrza jest słup rtęci o wysokości 76 cm*; H nie potrzebujemy dodawać, jak wielkie ~~jest~~ przecięcie ⊥ słupa. Przeciwnie, jeżeli chcemy porównać ciśnienie powietrza z ciśnieniem, sprawianem przez pewien ciężar, np. przez kilogram, na ~~swoją~~ podstawę, musimy określić pole tej podstawy; kilogram bowiem (inaczej) (ciśnie) na pole o T 10 cm^2 niż na pole o 20 cm^2. Przypuśćmy ~~np.~~, że rurka A (rys. 61.) ma 1 cm^2 przecięcia; słup podniesionej w niej rtęci zawiera więc 76 cm^3 a zatem (§ 29.) waży $76 \times 13{,}5 = 1026$ gramów. Zatem słup rtęci w rurce A wywiera ciśnienie przeszło kilograma na każdy centymetr kwadratowy przecięcia, na którem łączy się z rtęcią szerokiego naczynia; takie jest ciśnienie powietrza.

1cm. kw.

Rys. 62.

Powietrze atmosferyczne wywiera ciśnienie przeszło kilograma na centymetr kwadratowy. Jest to potężne ciśnienie, bo centymetr kwadratowy to niewielka rozległość (rys. 62.). Np. na stół o rozległości jednego metra kwadratowego powietrze ciśnie siłą ciężaru 10260 kilogramów.

↑ poprzedniej rurki

⌊ w nowej rurce B

Γ wprawdzie

⌋ za to

Ɣ i

H ma być ⊥ tego

T rozległości np.

Ciśnienie powietrza ↓ nie jest zresztą dokładnie stałe, lecz ulega nieustannym, choć wogóle niezbyt znacznym wahaniom; zależy ono od stanu otaczającego powietrza, czyli od tego, co nazywamy pogodą. Gdy np. burza nadciąga, ciśnienie powietrza najczęściej jest stosunkowo niskie. W zimie ciśnienia powietrza bywają naogół większe, niż w lecie. W krajach europejskich zmiany dzienne w ciśnieniu powietrza są najczęściej nieprawidłowe; natomiast w krajach blizkich równika bywają prawidłowe: tam mniej więcej od 10-ej zrana do 4-ej po południu ciśnienie zmniejsza się, od 4-ej popoł. do 10-ej wieczorem zwiększa się, potem zmniejsza się aż do 4-ej rano mniej więcej, nareszcie znów zwiększa się aż do 10-ej rano i t. d. Ciśnienie powietrza też w dwóch różnych miejscowościach w jednej i tej samej chwili są prawie zawsze niejednakowe; dlatego też średnie ciśnienia (np. średnie za cały rok) bywają zazwyczaj różne w różnych miejscowościach. Są one wogóle tem mniejsze, im wyżej nad poziomem morza leży dana miejscowość; poznamy dalej (§) przyczynę tej okoliczności. Średnie ciśnienie w miejscowościach, leżących u poziomu morza, wynosi 76 cm. rtęciowego słupa; dlatego ciśnienie 76 cm. słupa rtęciowego nazywa się ciśnieniem atmosferycznem normalnem (czyli zwyczajnem) lub krócej atmosferą.

↓ w danej miejscowości

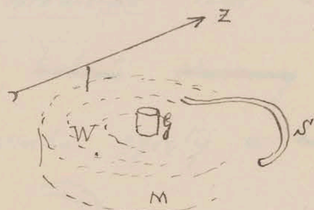
Przyrządy, które służą do mierzenia ciśnienia powietrza, nazywają się barometrami. Najdokładniejsze i najpewniejsze są barometry rtęciowe, jakiemi są np. przyrządy, wyobrażone na rys.

ame vij

60. oraz 61.; barometry rtęciowe, używane bądź w pracowniach ~~[illegible]~~ uczonych, bądź też w życiu codziennem, różnią się od tych przyrządów tylko ~~[illegible]~~ szczegółami budowy. 65

74

Prócz ~~barometrów~~ rtęciowych, spotyka się często (barometry) tzw. metalowe, czyli aneroidy. Najważniejszą część aneroidu stanowi płaska puszka ~~metalowa~~ M (rys.), której ~~górne~~ wieko (W) wyrobione z cienkiej blachy, ma postać sfałdowaną falisto. Puszkę wypróżnia się z powietrza i zamyka się szczelnie. Przypuśćmy, że, dla danego ciśnienia atmosferycznego, wieko (trwa) ~~jest~~ w pewnem położeniu; ~~jest~~ to znaczy, że sprężystość metalu, w tem położeniu wieka, równoważy się z danem ciśnieniem atmosferycznem. Jeśli teraz ciśnienie to zwiększy się, wieczko się wygnie ku dołowi, aż wzmagająca tym sposobem (jej) sprężystość ~~[illegible]~~ zrównoważy ~~[illegible]~~ nowe, wzmożone ciśnienie. Jeśli ciśnienie zewnętrzne się zwiększy, wieczko (wygnie się przeciwnie) ku górze. (Sprężyna S reguluje ~~[illegible]~~) Ruchy ~~[illegible]~~ wieczka i umocowanego na niem guzika G ~~[illegible] sprężyny S, przenoszą się w powiększeniu~~ układ zaś dźwigni powiększa ~~[illegible]~~ i przenosi zarazem (ów ruch) na oś ~~[illegible]~~ (na) ~~[illegible]~~ której lekka wskazówka Z ~~[illegible]~~ ~~się~~ obracać się może. Przyrząd taki trzeba „skalibrować" t.j. opatrzyć go podziałką, zbudowaną przez porównanie z barometrem rtęciowym. Mniej dokładne od rtęciowych (barometrów), aneroidy bywają często dogodne, jako łatwo przenośne i proste w użyciu.



Vide / 801

Budują też coraz częściej obecnie tzw. barografy, t.j. samopiszące barometry, bądź rtęciowe bądź metalowe, które same zapisują swoje wskazówki. Ruch poziomu rtęci, albo sprężystego metalowego denka, przeniesiony w nich bywa na ruch ołówka po przesuwającej się powoli i jednostajnie taśmie papieru. —

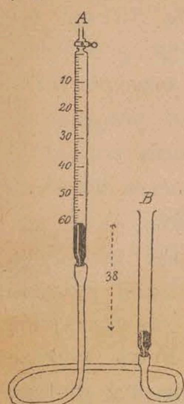
~~jednostajnie~~

§ 49. Objętość a ciśnienie.

Wróćmy do § 46. Wiemy, że na rtęć w rurce B (rys. 59.) działa ciśnienie powietrza atmosferycznego, czyli 1 atmosfera. Zatem, kiedy poziomy w A i B stoją jednakowo wysoko (rys. 59.), znaczy to, że powietrze w A wywiera ciśnienie, równe 76 *cm*; kiedy poziom w B stoi wyżej niż w A o pewną liczbę centymetrów, znaczy to, że powietrze w A wywiera ciśnienie tylu centymetrów, ile wynosi odległość pomiędzy poziomami, więcej 76 *cm*. Ażeby znaleść ciśnienie powietrza w A, trzeba więc dodać zawsze 76 *cm* do odległości pomiędzy poziomami. W § 46. powiedzieliśmy, jakie muszą być odległości pomiędzy poziomami, ażeby powietrze, które zajmowało z początku 30 cm^3, ścisnęło się do 20, do 15, do 10 cm^3. Obliczmy teraz ciśnienia, które powietrze wywierało w tych objętościach.

Objętość powietrza w A	Odległość pomiędzy poziomami A i B	Ciśnienie powietrza w A
30 cm^3	Zero	76 *cm* czyli 1 atm.
20 cm^3	38 *cm*	114 *cm* czyli 1·5 atm.
15 cm^3	76 *cm*	152 *cm* czyli 2 atm.
10 cm^3	152 *cm*	228 *cm* czyli 3 atm.

Widzimy, że, kiedy objętość powietrza zmniejszała się do połowy (np. z 30 na 15, z 20 na 10 cm^3), ciśnienie powiększało się w dwójnasób. Tak zachowuje się powietrze. *Ile razy zmniejszymy objętość pewnej ilości powietrza, tyle razy powiększy się jego ciśnienie.*



Rys. 63.

Zmniejszaliśmy objętość powietrza; czy nie możemy jej powiększać? Opuśćmy na dół rurkę *B* (rys. 63.), zamiast ją podnosić do góry. Zobaczymy, że poziom w rurce *A* będzie stał wyżej, niż w rurce *B*. To znaczy, że powietrze w rurce *A* wywiera teraz ciśnienie *mniejsze*, niż powietrze atmosferyczne, t. j. mniej niż jedna atmosfera. Jeżeli np. poziom *A* stoi o 19 o 38 *cm* wyżej niż *B*, to znaczy, że powietrze w *A* ma ciśnienie o 19 o 38 *cm* mniejsze od 1 atmosfery, a więc ciśnienie 57 *cm*, 38 *cm*. Teraz więc trzeba *odjąć* odległość ~~pionowych~~ od 76 *cm*, żeby znaleść ciśnienie powietrza w rurce *A*. W ten sposób znajdziemy:

Y dotychczas

J = sze T a ą a

∧ cm albo

F cm albo

⊢ ziomów

Objętość powietrza w *A*	Odległość pomiędzy poziomami *A* i *B*	Ciśnienie powietrza w *A*
40 cm^3	19 *cm*	57 *cm* = 0·75 atm.
60 cm^3	38 *cm*	38 *cm* = 0·50 atm.

Porównajmy te ciśnienia z dawniejszemi, jakie mieliśmy przy objętości 20 cm^3 oraz 30 cm^3. Widzimy, że, kiedy objętość powietrza zwiększała się w dwójnasób (np. z 20 na 40, z 30 na 60 cm^3) ciśnienie zmniejszało się do połowy. *Ile razy zwiększymy objętość pewnej ilości powietrza, tyle razy zmniejszy się jego ciśnienie.* Jest to prawidło ~~takiesamo~~, jak poprzednie, które stosowało się do zmniejszania się objętości i zwiększania się ciśnień. Obadwa prawidła możemy wyrazić krótko w sposób następujący: ciśnienie pewnej ilości powietrza zmienia się w stosunku odwrotnym do jego objętości. Albo jeszcze inaczej: iloczyn liczb, wyrażających ciśnienie i objętość pewnej ilości powietrza jest stały. Naprzykład:

tosamo

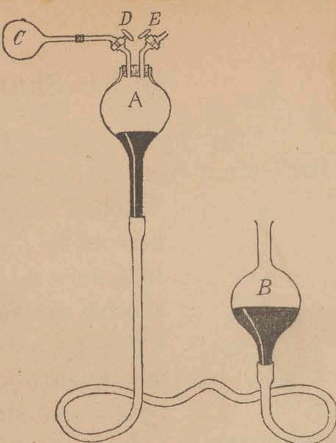
Kiedy objętość powietrza zamkniętego w *A* wynosiła	wówczas ciśnienie jego było równe	Iloczyn wynosi:
60 cm^3	0,50 atm.	60 × 0,50 = 30
40 cm^3	0,75 atm.	40 × 0,75 = 30
30 cm^3	1.00 atm.	30 × 1.00 = 30
20 cm^3	1,50 atm.	20 × 1,50 = 30
15 cm^3	2.00 atm.	15 × 2.00 = 30
10 cm^3	3.00 atm.	10 × 3.00 = 30.

§ 50. Pompy pneumatyczne.

Ostatnie doświadczenie naprowadza na pomysł zbudowania tak zwanej pompy pneumatycznej, która służy do pompowania powietrza z pewnego naczynia. Wystawmy sobie balon szklany *A* (rys. 64.),

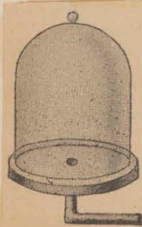
↑ w artykule poprzednim (Rys. 63)

do którego wchodzą dwie rurki. Jedna prowadzi do naczynia C, z którego chcemy wyciągnąć powietrze i ta może być zamknięta kurkiem D. Druga prowadzi wprost na zewnątrz i może być zamknięta kurkiem E. Możemy zniżać lub podnosić rtęć w balonie A, zniżając lub podnosząc balon B, który łączy się z pierwszym wytrzymałą rurką kauczukową. Najprzód rtęć w balonie A podnosimy aż do kurków D i E. Następnie zamykamy E, łączymy D z naczyniem C i opuszczamy rtęć w A. Rtęć, opadając, pozostawiałaby w balonie próżnię, gdyby nie powietrze w C, które napływa do A. Że jednak ta ilość powietrza, która pod ciśnieniem jednej atmosfery zajmowała objętość naczynia C, rozchodzi się teraz po obu naczyniach C i A, przeto już teraz mamy w C ciśnienie zmniejszone. Jeśli np. objętość A jest trzy razy większa niż objętość C, wtedy ciśnienie w C zmniejszyło się z jednej atmosfery do $^1/_4$ atmosfery (§ 49.). Teraz zamykamy D, podnosimy rtęć do góry w A i otwieramy kurek E. Tym sposobem wypędzamy na zewnątrz powietrze, które napłynęło było z C do A. Podniósłszy rtęć jak można najwyżej, znów zamykamy E, otwieramy D i opuszczamy rtęć, jednem słowem, powtarzamy, co czyniliśmy przed chwilą. Powietrze z C rozejdzie się znów po przyrządzie, ciśnienie w C zmniejszy się z $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{16}$ atmosfery. Taksamo postępować będziemy dalej. Po kilku poruszeniach rtęci otrzymamy w C bardzo małe ciśnienie, t. j. usuniemy ztamtąd powietrze prawie zupełnie. (Do tych doświadczeń, jak również do opisanych w trzech poprzednich artykułach, należy używać rtęci czystej. Rtęć znajdująca się w handlu bywa zazwyczaj stosunkowo czysta, trzeba ją tylko przefiltrować a często i wysuszyć. ~~[illegible]~~ Z rtęcią należy obchodzić się ostrożnie, zwłaszcza zaś unikać ogrzewania jej (w otwartych naczyniach) ~~rtęci, gdyż wytwarza wówczas pary nader szkodliwe dla zdrowia~~. Przy do-



Rys. 64.

świadczeniach z pompą przydatny bywa *talerz* (rys. 65.), przez który prowadzi rura do pompy; na talerzu umieszcza się przedmioty, które mają znaleść się w próżni, przykrywając je przyszlifowanym dzwonem szklanym. Dla szczelności brzeg tego dzwonu smaruje się łojem, albo wazeliną, albo mięszaniną parafiny z wazeliną. Podobnym smarem smaruje się również szlifowane części kurków szklanych, ~~jak D i E na rys. 64., aby nie wycierały się i pozostawały szczelne; w tym celu wystarcza jednak nadzwyczaj niewielka ilość smaru, ilość zaś zbyt duża szkodzi szczelności.~~)

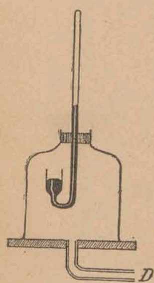

Rys. 65.

Można powiedzieć, że pompa rtęciowa, wyżej opisana, ma tłok, zrobiony z rtęci. Budują też często pompy pneumatyczne, o tłokach drewnianych lub metalowych, obciągniętych skórą. Zamiast kurków (jak D i E na rys. 64.) robią wówczas ~~w takich maszynach~~ zastawki (wentyle) czyli

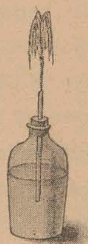
klapy, które pompowane powietrze samo odmyka i zamyka. Na rys. widzimy istotną część maszyny podobnej. Przez tłok mmnn przechodzi środkiem kanał, od dołu zamykany zastawką a, od góry łączący się z zewnętrznym powietrzem. Z boku tkwi nadto w tłoku pręt bc, poruszający się razem z tłokiem do góry i na dół, o ile pozwalają na to zatyczka c i haczyk b. Gdy tłok posuwa się do góry, pręt bc podnosi się, kanał R jest więc otwarty, natomiast a zamyka się zaraz pod naciskiem zewnętrznego powietrza, gdyż ruch tłoka rozrzedza pod nim powietrze; a zatem ostatecznie powietrze jest pompowane przez R, np. z pod klosza (rys. 65). Przeciwnie, gdy tłok mmnn zesuwa się na dół, pręt bc opuszcza się, zamyka R, powietrze, które napłynęło było do walca, ściskane, nabiera większego ciśnienia, nareszcie otwiera klapę a i wychodzi nazewnątrz.

§ 51. Skutki ciśnienia powietrza.

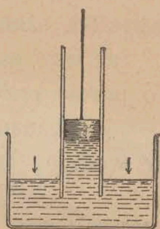
Przy pomocy pompy pneumatycznej sprawdzamy, co powiedzieliśmy o ciśnieniu powietrza. Wstawmy np. pod dzwon (rys. 65.) butelkę, zaopatrzoną w korek, przez który przechodzi rurka wyciągnięta (rys. 67.); w butelce tej znajduje się woda. Gdy pompa zacznie działać, woda tryska z rurki. Albo też wprowadźmy barometr pod dzwon pompy, jak wskazuje rys. 66. Słup w barometrze będzie spadał coraz niżej, im dłużej pompa będzie działała. Zamknijmy wylot rury w talerzu (rys. 65.) palcem lub dłonią; w miarę pompowania czujemy, że coś wtłacza nam skórę do rurki. Postawmy na talerzu szeroką rurę szklaną, której otwór górny obwiązaliśmy pęcherzem lub błoną kauczukową; wskutek działania pompy błona staje się wklęsłą ku dołowi i wkońcu pęka. Wszystkie te skutki sprawia ciśnienie powietrza. Nie wydają się one nam dziwne, skoro ciśnienie to równa się, jak doszliśmy, ciśnieniu przeszło kilograma na centymetr kwadratowy.



Rys. 66.


Rys. 67.

Weźmy rurkę, w której porusza się tłok (rys. 68.); zanurzamy ją dolnym otworem do wody i podnosimy tłok. Tym sposobem tworzy się pod tłokiem próżnia, którą natychmiast napełnia woda, bo wciska ją tam ciśnienie powietrza zewnętrznego. Na tej zasadzie polega działanie pomp wodnych w zwykłych studniach.


Rys. 68.

Rysunek, który przedstawia przecięcie takiej studni, pozwala zrozumieć, bez dalszych objaśnień, ruch tłoka, grę klap, płynięcie wody, jakie

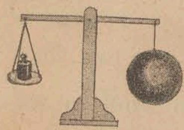
powtarzają się w niej za każdem poruszeniem rękojeści. Budowa sikawek ~~jakie bywają używane do polewania ulic, do gaszenia pożarów i. t. d.~~, polega (w zasadzie) na ~~podobnem~~ urządzeniu podobnem.

Gdybyśmy zanurzyli rurkę [redacted] z tłokiem (rys. 68.) do rtęci, wiemy, że wciągnęlibyśmy ją na wysokość 76 *cm* ale nie wyżej. Woda jest 13·5 razy mniej ciężka od rtęci, więc można podnieść w ten sposób wodę o wysokość 13·5 × 76 *cm* czyli o wysokość przeszło 10 metrów, ale nie wyżej. Zwyczajna pompa nie może podnieść wody o większą wysokość.

§ 52. Powietrze usiłuje wyprzeć ciało zanurzone.

Zkąd bierze się ciśnienie w powietrzu atmosferycznem? W naczyniu pełnem wody mamy też ciśnienie; wiemy (§ 43.), że jest ono poprostu ciężarem wody. Czy taksamo jest w powietrzu? Czy powietrze ma ciężar? Niebawem przekonamy się (§ 53.), że *powietrze ma ciężar;* zauważmy tymczasem, iż, gdyby powietrze nie miało ciężaru, ani dym z komina ani para z kotła nie mogłyby podnosić się w powietrzu do góry. Istotnie: dlaczego korek w wodzie idzie do góry? Bo w jednakowej objętości jest lżejszy od wody (§ 44.). Więc dym i para w jednakowej objętości są lżejsze od powietrza, skoro w niem idą do góry. Lecz gdyby powietrze nie miało ciężaru, dym i para nie mogłyby być lżejsze od powietrza. Sprawdźmy to. W miastach sprzedają jako zabawkę kauczukowe baloniki. Sama kauczukowa powłoka w baloniku jest oczywiście cięższa od powietrza; ale gaz, którym balonik jest napełniony, tak zwany gaz oświetlający, jest lżejszy od powietrza; balonik więc idzie w powietrzu do góry, ~~podobnie jak~~ w wodzie próżna zakorkowana butelka. W takisam sposób bywają urządzane wielkie *balony,* którymi ludzie wznoszą się w powietrze. Umieszczony pod dzwonem pompy pneumatycznej ~~balonik~~ wzlatuje aż do szczytu dzwonu; lecz ~~wnet~~ opada na talerz, skoro pod dzwonem zrobimy próżnię. Istotnie więc *ciało, zanurzone w powietrzu, doznaje parcia do góry, taksamo jak ciało, zanurzone w wodzie* (§ 44.). Parcie, którego doznaje balonik, jest większe, niż jego ciężar; dlatego balonik wzlatuje do góry. Kawałek szkła albo metalu nie wzlatuje do góry w powietrzu, bo ciężar jego jest znacznie większy niż parcie do góry; zawsze jednak to parcie przeciwdziała ciężarowi t. j. pozornie go zmniejsza.

Zobaczmy, czy pozorna strata w powietrzu jest, tak jak w wodzie, tem większa, im większa jest objętość ciała. Weźmy małą ważkę, na której zrównoważyliśmy (rys. 69.) lekką, pustą w środku kulę ciężarkami, śrutem lub rtęcią. Zrównoważyliśmy ją w *powietrzu;* a ponieważ kula ma objętość większą, niż ciężarki, więc powinna doznawać parcia do góry większego. Zatem kula *naprawdę* musi być cięższa niż ciężarki a równoważy się z nimi jedynie dzięki pomocy parcia po-



Rys. 69.

a mianowicie

widocznie

rozumowanie.

z tegosamego powodu, z jakiego

idzie do góry

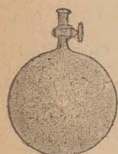
Balonik taki,

natychmiast

wietrza. Istotnie: wstawmy ważkę pod dzwon pompy i wyciągnijmy powietrze a zobaczymy, że strona ważki, po której wisi kula, przechyla się ku dołowi.

§ 53. Ciężar powietrza.

Ciało, zanurzone w wodze, traci pozornie na ciężarze tyle, ile waży woda, której miejsce zajmuje. Zobaczmy, czy tosamo stosuje się do powietrza. Przypuśćmy, że kula w przyrządzie rys. 69. ma 1000 *cm*³ czyli 1 litr objętości; dalej, że jest zrobiona z bardzo cienkiej blachy, tak że waży kilkanaście gramów; w takim razie ciężarki zajmują tylko kilka *cm*³ i możemy pominąć parcie, którego doznają w powietrzu. Zrównoważywszy kulę w powietrzu, widzimy, jak powiedziano, że w próżni kula przeważa. Teraz, zrównoważywszy kulę w powietrzu, dodajmy jeszcze 1·2 grama po stronie ciężarków; wówczas w *powietrzu* ciężarki będą *przeważały*, ale *w próżni będzie równowaga*. To dowodzi, że ciężar kuli zmniejsza się w powietrzu wskutek parcia o 1·2 grama. Zatem litr powietrza musi *ważyć* 1·2 grama.


Rys. 70.

Żeby to sprawdzić, potrzeba dokładnej wagi oraz bani szklanej z kurkiem (rys. 70.). Zapomocą pompy pneumatycznej usuwamy z bani powietrze; następnie, zamknąwszy kurek, zawieszamy banię na wadze i równoważymy ją śrutem lub rtęcią. Nareszcie otwieramy kurek i dokładamy ciężarków tyle, ile potrzeba do przywrócenia równowagi. Dołożymy w tym celu 1·2 grama, jeśli bania aż do kurka ma litr objętości. Zatem rzeczywiście: *litr powietrza waży 1·2 grama*. Czy nie popełniliśmy tu jednak błędu, skoro bania, ważona w powietrzu, musiała tracić na ciężarze? Nie popełniliśmy błędu, bo nie szło nam o ciężar bani, lecz o *przybytek* w jej ciężarze, spowodowany tem, że weszło do niej powietrze. Ilekolwiek bania traciła na ciężarze, wszystko jedno, bo traciła zarówno w pierwszem, jak w drugiem ważeniu. Jeśli nie znamy objętości bani, ważymy ją po raz trzeci pełną wody. Ile gramów musimy teraz dołożyć (do śrutu lub rtęci, które równoważyły banię w pierwszem ważeniu) tyle *cm*³ bania ma objętości. Podwoiwszy przybytek w ciężarze bani, spowodowany wejściem powietrza, przez objętość bani, znajdziemy zawsze 1·2 grama na każdy litr powietrza.

Powietrze ma zatem stosunkowo znaczny ciężar. Duży pokój może mieć długości i szerokości np. po 5 *m* a wysokości 4 *m*; w takim razie zawarte w nim powietrze waży 120 *kg*. Litr wody waży kilogram, zatem powietrze jest około 850 razy mniej ciężkie niż woda t. j. ma gęstość $\frac{1}{850}$.

§ 54. Gęstość a ciśnienie.

Wystawmy sobie litr powietrza atmosferycznego, np. nad rtęcią w rurce *A*, rys. 63. Mamy w nim, jak wiemy, 1·2 grama powietrza. Przypuśćmy, żeśmy objętość tego powietrza powiększyli w dwójnasób; zmusiliśmy tym sposobem 1·2 grama do rozejścia się po objętości dwóch litrów. Zatem w pierwszym litrze zostało tylko 0·6 grama powietrza; 0·6 grama powietrza przeszło do drugiego. Widzimy więc, że ciężar litra powietrza zmniejszył się do połowy i że gęstość powietrza zmniejszyła się do połowy. Powiadamy: *w jakim stosunku zwiększamy objętość pewnej ilości powietrza, w takim stosunku zmniejsza się jego gęstość.*

Lecz jeśli zmienia się objętość, którą zajmuje 1·2 grama powietrza, to zmienia się także jego ciśnienie. Zajmując jeden litr, 1·2 grama wywiera ciśnienie 76 *cm* rtęci; rozszerzywszy się do objętości podwójnej, będzie wywierał ciśnienie dwa razy mniejsze. Zatem, gdy gęstość powietrza zmniejszyła się do połowy, ciśnienie zmniejszyło się również do połowy. Możemy powiedzieć na zasadzie § 49.: *w jakim stosunku zmniejszymy gęstość pewnej ilości powietrza, w takim zmniejszy się jego ciśnienie.*

(s)

(które zazwyczaj bywają mosiężne)

właśnie

zwykłego

zwykłe

powietrza

litra

( )

stosunku

Dlatego mówi się o powietrzu, które wywiera ciśnienie mniejsze niż atmosferyczne, że jest *rozrzedzone.* Innemi słowy, w danej objętości może być powietrza więcej i mniej; jeśli jest go 2 gramy, ciśnienie jest dwa razy większe, niż jeśli jest go gram; jeśli jest go 3 gramy, ciśnienie jest trzy razy większe; Każdy gram powietrza sprawia więc swoje ciśnienie, czy w owej objętości są inne gramy powietrza, czy ich niema. Ciało, które ma ~~takie~~ własności, nazywamy *ciałem gazowem* albo *gazem.* Powietrze zatem jest ciał~~em~~ gazowe~~m~~. Lecz, jak prócz wody jest wiele innych ciał ciekłych, podobnie prócz powietrza jest wiele innych ciał gazowych, o czem dowiemy się dokładniej z Chemii, a także z rozdziału o cieple.

↑ it. d.

⊥, znajdujący się w danej objętości,

⊔ wogóle podobne

⊔⊔ przykładem

╥ np. tlen, wodór, bezwodnik węglowy it. d.,

∤ poniekąd

§ 55. O wysokości atmosfery.

Kula ziemska jest przykryta powłoką powietrza. Wejdźmy na wysoką wieżę, wstąpmy na szczyt góry, wznieśmy się balonem — znajdziemy tam wszędzie powietrze. A zatem żyjemy w głębi ogromnego oceanu powietrza, jak rośliny dna morskiego, które żyją w głębi ogromnego oceanu wody. Jak wysoko sięga ten ocean powietrza, ta *atmosfera*, jak go nazywają? Gdzie się ona kończy? Mimowoli nasuwa się takie pytanie.

Zdawałoby się, że łatwo można na nie odpowiedzieć. Wyobraźmy ~~stawmy~~ sobie 1 m^2, leżący poziomo na ziemi. Wiemy (§ 48.), że ciśnienie powietrza ciąży na nim ciężarem 10260 *kg*. A ponieważ ciśnienie powietrza wynika z ciężaru powietrza (§ 52.), więc 10260 *kg* jest to ciężar słupa powietrza, który wznosi się na podstawie metra kwadratowego od ziemi aż do krańców atmosfery. Ponieważ zaś metr sześcienny powietrza waży 1·2 *kg* (§ 53.), zdawałoby się przeto, że wspomniany słup, ażeby módz pomieścić w sobie 10260 *kg* powietrza, powinien składać się z $\frac{10260}{1 \cdot 2}$ czyli z 8550 sześcianów, mających każdy po metrze wysokości. Czy zatem atmosfera ma 8550 metrów wysokości? Bynajmniej tak nie jest; atmosfera sięga znacznie wyżej, jak to zaraz zobaczymy.

/ ;

§ 56. Im wyżej, tem ~~powietrze rzadsze~~ ciśnienie mniejsze.

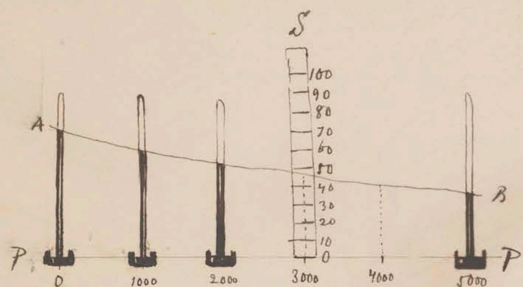
W wodzie, im głębiej, tem ciśnienie większe (§ 43.); tak być musi, skoro ciśnienie w wodzie w pewnej głębokości — to ciężar wody, powyżej leżącej. W powietrzu jest podobnie: ciśnienie w atmosferze w pewnej wysokości — to ciężar powietrza, powyżej leżącego. A zatem ***w miarę oddalania się od powierzchni ziemi ciśnienie powietrza musi być coraz mniejsze;*** my zaś, na dnie atmosfery, mamy ***największe*** ciśnienie powietrza. Że tak jest, okazuje się w każdej podróży balonem. Przy wzlocie balonu, na powierzchni ziemi, barometr pokazywał (przypuśćmy) 76 *cm*; w takim razie będzie pokazywał:

na wysokości 1000 m nad ziemią .... około 67 cm

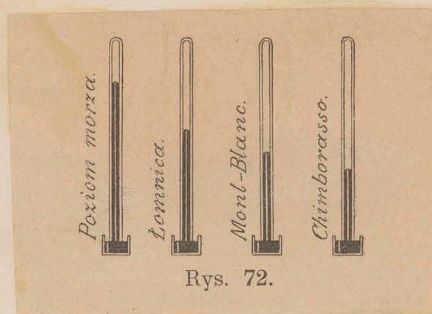
na wysokości 2000 m nad ziemią .... około 59·5 cm

na wysokości 5000 m nad ziemią ... około 41 cm.

Narysujmy te wysokości barometru tak, jak to przedstawia Rys. ..., mianowicie w kolejnych odstępach od lewej ~~strony~~ ku prawej, odpowiadających wzniesieniom kolejnym barometru nad ziemią; na Rys. ... np. 1 cm odstępu (wzdłuż poziomej PP) wyobraża 1000 m wzniesienia nad ziemią. Połączmy wierzchołki



Rys.



Rys. 72.

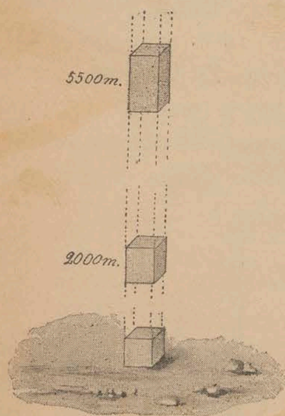
słupów barometrycznych linią ciągłą, krzywą (AB); pokazuje ona, jaka zachodzi zależność pomiędzy wysokością barometru a wzniesieniem nad ziemią. Gdyby balon podnosił się w górę ruchem jednostajnym (t. j. z prędkością stałą) linia AB wskazywałaby, w jaki sposób ~~[illegible]~~ z biegiem czasu opadała rtęć w barometrze. Taką linię AB nakreśliłby naprzykład barograf (§), który znajdowałby się w podnoszącym się jednostajnie balonie. Narysowawszy taką linię dokładnie (najlepiej na kratkowanym papierze), możemy (oczywiście) odpowiedzieć na takie pytanie jak np.: jak wysoko stoi barometr na wysokości 3000 m nad ziemią? jak również na pytania odwrotne, jak np.: na jakiej wysokości nad ziemią barometr pokaże 45 cm? Dosyć przesunąć w tym celu ~~podziałkę~~ skalę S wzdłuż krzywej AB, tak, żeby jej zero stanęło na punkcie „3000" poziomej PP, albo, żeby przecięcie się jej z krzywą AB przypadło punkt „45" na jej własnej podziałce.

Na wycieczkach w góry możemy sprawdzić (najdogodniej zapomocą aneroidu, §), że ciśnienie powietrza jest coraz mniejsze, w miarę tego, jak wznosimy się wyżej i wyżej. Jeżeli znamy zkądinąd wysokość góry, możemy sprawdzić przebieg linii AB na rys. . Jeżeli zaś przeciwnie, nie wiemy, jak wysoko jesteśmy wzniesieni, możemy ~~[illegible]~~ wynaleźć wysokość naszego wzniesienia (ponad poziom morza) ~~gdzie jest 76 cm~~ w sposób, widoczny z poprzednich objaśnień. Rys.   przedstawia np. wysokość barometru u poziomu morza, na szczycie tatrzańskim Łomnicy, na górze Mont-Blanc i na górze Chimborasso. Znajdujemy, przez porównanie z krzywą AB, że Łomnica wznosi się   m ~~nad poziomem morza~~, Mont-Blanc   m, Chimborasso   m, nad poziomem morza. Widzimy więc, że można mierzyć ~~[illegible]~~ wysokości zapomocą barometru; jednakże, ażeby takie pomiary ~~[illegible]~~ dawały wypadki ścisłe ~~dokładne~~, potrzeba dokładnych przyrządów oraz starannych i szczegółowych wyliczeń. —

§ Im wyżej, tem powietrze rzadsze.

Jeśli ciśnienie w atmosferze jest coraz mniejsze, im dalej od ziemi, to powiadamy na zasadzie § -go: *im dalej od ziemi, tem gęstość powietrza jest mniejsza, tem powietrze jest rzadsze.* Istotnie, w górach i w balonie znajdujemy coraz rzadsze powietrze, im wyżej się wznosimy. Dlaczego nie dostrzegamy w wodzie podobnego przyrostu gęstości ku dołowi, np. w dużym zbiorniku? Bo woda jest ~~(§ 85.)~~ nadzwyczaj mało ściśliwa (§). Ciężar wysokiego nawet słupa wody jest jeszcze zbyt słaby, ażeby mógł ścisnąć wodę w sposób dostrzegalny. Wyobraźmy sobie np. walec z § -go, Rys. 37, o przecięciu 10 cm^2 jak dawniej, ale o wysokości np. 50 m; jest to wysokość znaczna, niewiele jest budynków na ziemi, które liczą wyżej niż 50 m (wysokości). Wyobraźmy sobie ten olbrzymi walec wypełniony wodą. Pomieści się w nim 50 litrów wody, czyli 50 kg. Uważajmy warstewkę wody u samego dna walca, a więc najniżej leżącą; znosi ona ciśnienie 50 kg, czyli 5 kg każdy cm^2. Lecz w § -ym widzieliśmy, że ciśnienie dopiero 2000 kg na tłok, czyli 200 kg na cm^2 ściskało każdy cm^3 wody o jedną setną część cm^3; obecne ciśnienie 5 kg na cm^2 ściśnie każdy cm^3 w warstewce najniższej zaledwie o $\frac{1}{4000}$ część cm^3. Przeciwnie powietrze jest znacznie bardziej ściśliwe niż woda (§). A zatem słup wody jest zaledwie ~~jest~~ podobny do stosu cegieł, leżących na sobie a słup powietrza jest ~~byłby~~ raczej podobny do stosu materaców sprężynowych, leżących na sobie: im który niżej leży, tem mocniej jest ściśnięty.

To tłómaczy, dlaczego otrzymaliśmy błędny wypadek, obliczając wysokość atmosfery w artykule § -ym. Obliczaliśmy, jak wysoki musi być słup, mający za podstawę 1 m^2, ażeby mógł pomieścić 10260 *kg* powietrza. Gdyby 1·2 *kg* powietrza zajmowało zawsze 1 m^3, słup ten musiałby mieć, jak powiedzieliśmy, 8550 *m* wysokości. Ale 1·2 *kg* powietrza, licząc od ziemi pionowo, tylko tuż nad powierzchnią ziemi zajmuje 1 m^3, im wyżej zaś, tem powietrze jest rzadsze, więc tem większą objętość brać trzeba, żeby znaleść w niej zawsze 1·2 *kg*. Idźmy w naszym słupie do góry, poczynając od ziemi (rys. 73.); dzielmy go na takie prostopadłościany, ażeby każdy mieścił w sobie 1·2 *kg* powietrza. Prostopadłościan, leżący tuż przy ziemi, jest sześcianem i ma metr wysokości. Prostopadłościan, leżący o 2000 metrów od ziemi, ma 1 *m* 27 *cm*; prostopadłościan, leżący o 5500 *m*, ma 2 *m* wysokości. Widzimy zatem, że na wysokości 2000 *m* od ziemi nie pomieści się 2000 prostopadłościanów, lecz mniej; na wysokości 8550 *m* od ziemi nie pomieści się 8550 prostopadłościanów, nie pomieści się zatem 10260 *kg* powietrza. Atmosfera musi sięgać znacznie wyżej niż 8550 *m*., czyli niż 8·55 km. Istotnie, zauważono, że chmury unoszą się w powietrzu na wysokościach,

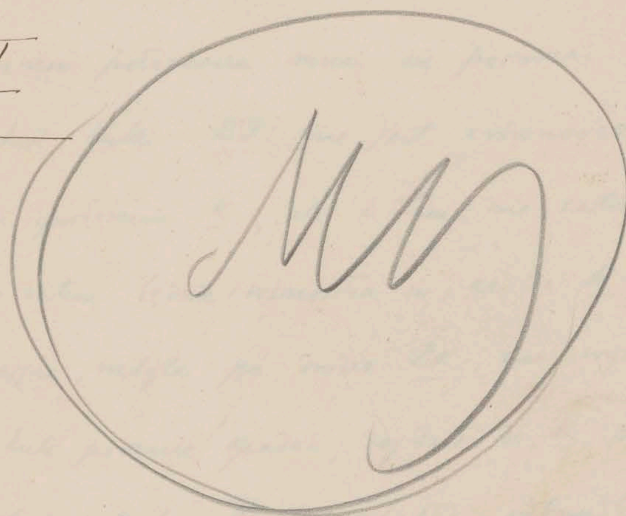


Rys. 73.

~~km~~ dochodzących niekiedy do 80 km. Z drugiej zaś strony wiadomo, że meteoryty poczynają świecić niekiedy w odległości 200 km od powierzchni ziemi. Ponieważ zaś wiadomo, że poczynają one świecić wówczas, gdy rozgrzeją się dostatecznie skutkiem ogromnego tarcia i oporu, jaki im przeciwstawia powietrze (ogromnego dlatego, że prędkość, z jaką pędzą, jest ogromna), przeto pokazuje się, że już nawet na wysokości 200 km nad ziemią musi istnieć powietrze, choć niewątpliwie nadzwyczaj rozrzedzone. –

+ 5 str.

Rozdział III

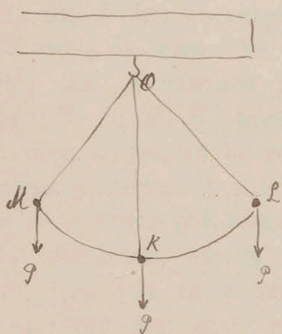


Rozdział trzeci.

O falach. O głosie.

§ . Ruch wahadła

W artykułach 16, 17, 38, 39 i 40 poznaliśmy własności wahadła i ruchu wahadłowego.



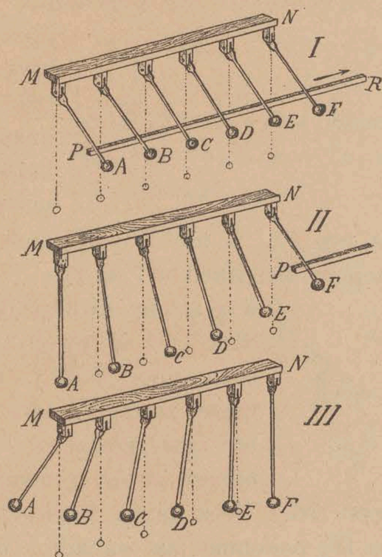
(Rys. 74 książki)

Przypominamy, że wahadło w położeniu OK (rys.) wisi spokojnie; w każdem innem położeniu musi się poruszać. W położeniu np. OL ciężkość kulki LP nie jest zrównoważona; kula poruszy się zatem ku położeniu K, ale i tam nie zatrzyma się, gdyż jest bezwładna; zatem będzie wznosiła się, aż do M, po stronie przeciwnej, dopóki energia, nabyta po drodze LK, nie wyczerpie się na pracę wznoszenia (§ 38.) Gdy to się stanie, kula pocznie opadać, dojdzie do K, znów przez bezwładność przejdzie po za K, dojdzie do L i t. d. i t. d. Ruch wahadła odbywałby się w taki sposób bez końca, gdyż energia jego nie rozpraszała się (na zwolna) otaczające przedmioty, na hak, na belkę, na ~~otaczające~~ powietrze, skutkiem tarcia, oporu i t. p. wpływów ubocznych.

Jak widzimy, ruch wahadła polega w istocie swojej na ważeniu się ~~dwóch czynników~~: ciężkości z jednej strony, a bezwładności wahadła z drugiej. Dokonywa się w nim nieustanna zamiana energii ruchu wahadła na pracę przeciwko ciężkości, i nadwrót, pracy ciężkości na energię ruchu wahadła. —

§ 58. Rozchodzenie się ruchu wahadłowego w szeregu wahadeł

Pod deseczką *MN* (rys. 75, I.) zawieszamy szereg wahadeł: *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F* i odchylamy je wszystkie razem przy pomocy pręta *PR*, podstawionego pod druty wahadeł. Przypuśćmy teraz, że wysuwamy pręt *PR* z pod wahadeł w kierunku, jaki pokazuje strzałka. Wahadła zaczynają opadać ku pionowym swym położeniom, które na rys. 75, I widzimy kropkowane; dobiegłszy do nich, poruszają się dalej, podnoszą się po stronie przeciwnej, jednem słowem *odbywają ruch wahadłowy*, podobnie jak wahadło *OK* w artykule poprzednim. Lecz pręta *PR* nie wysunęliśmy *odrazu* z pod wszystkich wahadeł; wysunęliśmy go naprzód z pod *A*, chwilę później z pod *B* i t. d. Zanim przeto wahadło *B* rozpoczęło swą drogę, *A* już część swojej odbyło. Na rys. 75, II widzimy chwilę, gdy *A* przebiega przez położenie pionowe, gdy *B*, *C*, *D*, *E* biegną na lewo, ku swoim położeniom pionowym, zaś *F* dopiero rozpoczyna swą drogę na lewo. Na rys. 75, III widzimy nieco późniejszą chwilę, gdy *A* zawraca już i zaczyna drogę powrotną na prawo, gdy *B*, *C*, *D*, *E*, przebiegłszy po za swe położenia pionowe, wznoszą się jeszcze ku górze, zaś *F* przebiega właśnie przez swe położenie pionowe. A zatem widzimy, że, jeżeli *A* w pewnej chwili jest w pewnem położeniu, to chwilę później *B* będzie w takiemsamem położeniu, chwilę później będzie w niem *C* i t. d.



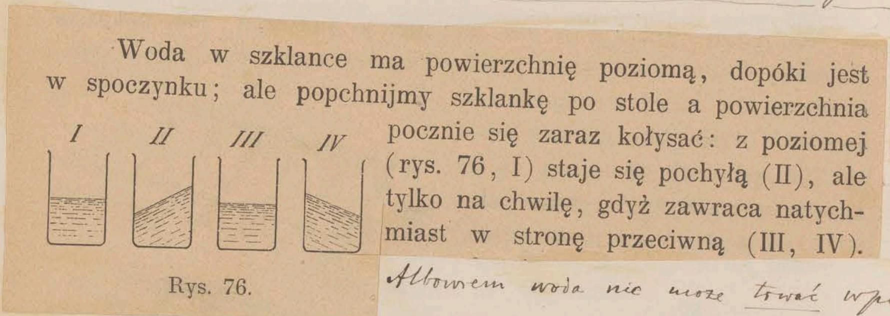
Rys. 75.

Powiadamy więc, że tu w szeregu wahadeł ruch wahadłowy *postępuje*, posuwa się czyli *rozchodzi się* z pewną prędkością. Istotnie: potrzeba na to pewnego czasu, ażeby którekolwiek położenie (np. największe wychylenie się na lewo) udzieliło się od wahadła *A* aż do wahadła *F* t. j. ażeby posunęło się ono o odległość *AF*. Widzimy dalej, że same wahadła, wahając się, nie posuwają się ani ku jednemu ani ku drugiemu końcowi deseczki *MN*; wahają się one poprzecznie czyli prostopadle do kierunku *MN*. Tylko ruch ich, ruch wahadłowy, posuwa się czyli postępuje w kierunku *MN*.

Powtórzmy raz jeszcze doświadczenie poprzednie; lecz wysuwajmy pręt PR tak powoli z pod drutów wahadeł, żeby wahadło F rozpoczęło pierwsze wahnięcie w tej chwili, w której wahadło A, skończywszy pierwsze, rozpoczyna drugie wahnięcie (zob. w § 38-ym określenie wyrazu „wahnięcie"). Ponieważ drugie wahnięcie A jest (w pominięciu oporów i tarcia) dokładnem powtórzeniem pierwszego, więc widocznie wahadła F i A będą teraz odbywały ruch jednakowy: w tej samej chwili będą w największem wychyleniu na prawo, w tejsamej chwili przejdą przez położenia pionowe, w tejsamej dojdą do największych wychyleń na lewo. Gdybyśmy mieli nie sześć, ale np. trzydzieści wahadeł, umieszczonych w równych odstępach, jak powyższe, i gdybyśmy poruszyli je w opisany sposób, wysuwając pręt ruchem jednostajnym, sprawdzilibyśmy podobnie, że nietylko szóste, ale i jedenaste wa-

hadło, szeszcie wahadło, dwudzieste i pierwsze wahadło i t. d. i t. d. wahadłyby się wszystkie spółcześnie i zgodnie z pierwszem wahadłem. Wówczas powiemy: wzdłuż szeregu wahadeł ruch ich wahadłowy posuwa się z taką prędkością, że w ciągu czasu jednego zupełnego wahnięcia przebywa odległość AF, czyli, jak tutaj, pięć razy wziętą odległość dwóch wahadeł sąsiednich. O tę długość AF odległe są od siebie wahadła, które poruszają się zgodnie, tj. które w chwilach jednakowych są w położeniach jednakowych. Takie posuwanie się ruchu wahadłowego możemy nazwać rozchodzeniem się fali w szeregu wahadeł; długość AF będzie nazywała się wówczas długością tej fali.

§ . Ruch wahadłowy wody.


Woda w szklance ma powierzchnię poziomą, dopóki jest w spoczynku; ale popchnijmy szklankę po stole a powierzchnia pocznie się zaraz kołysać: z poziomej (rys. 76, I) staje się pochyłą (II), ale tylko na chwilę, gdyż zawraca natychmiast w stronę przeciwną (III, IV).

Rys. 76.

Albowiem woda nie może trwać w położeniu pochyłem, jakie wyobraża rys. 76, II; wytłomaczyliśmy to już szczegółowo w § 58-ym. A zatem woda popłynie ze strony prawej na lewą, przybierze położenie III na rys. 76-ym, lecz nie pozostanie w tem położeniu, jakkolwiek to jest położenie równowagi; nie pozostanie w niem przez bezwładność, zupełnie podobnie jak wahadło przez bezwładność wybiega poza położenie pionowe (§). Woda przybierze więc położenie IV na rys. 76-ym, potem znowu „zawróci", przyjmie napowrót położenia III, II, I i t. d. i t. d., aż opór i tarcie wody o szkło, o powietrze i o siebie samą nie odbierze jej energii i nie uspokoi jej wahań.

Widzimy, że wahanie się wody jest podobne (kolejnem) ważeniem się ciężkości i bezwładności wody, jak wahanie się wahadła (§) jest ważeniem się ciężkości i bezwładności wahadła.

§. Rozchodzenie się ruchu wahadłowego wody.

Weźmy długie koryto pełne wody (rys.). Koryto takie możemy uważać jakgdyby za szereg szklanek, połączonych ze sobą. A zatem, jak poprzednio przeszliśmy od ruchu jednego wahadła do rozchodzenia się ruchu wahadłowego w szeregu wahadeł, podobnie możemy przejść teraz od ruchu wahadłowego wody w szklance do rozchodzenia się ruchu takiegoż

w drugiem korycie. Upuśćmy nagle ~~pewną ilość~~ nieco wody na powierzchnię wody u jednego końca koryta; w ten sposób wprawiamy tam wodę ~~u tego końca koryta~~ w ruch wahadłowy. Ruch ten udziela się dalej i rozchodzi się po całem korycie; widzimy wtedy falę, która biegnie po powierzchni. Posypmy powierzchnię wody miałem korkowym lub drzewnym; zobaczymy, że pływające cząsteczki podnoszą się i opadają, gdy fala przebiega, ale nie posuwają się ani naprzód, ani wstecz. A zatem, gdy fala przebiega, nie sama woda posuwa się naprzód, lecz tylko jej kołysanie się, jej ruch wahadłowy posuwa się naprzód, czyli *postępuje* wzdłuż koryta. Podobnież, gdy na powierzchnię wody w stawie lub rzece rzucimy kamień, wstrząśnienie powierzchni rozchodzi się we wszystkich kierunkach i dlatego widzimy fale w postaci kół, rozbiegających się po powierzchni.

Rys. 78.

§ 61. Fale w sprężynie.

Weźmy krótką sprężynkę (zrobioną przez skręcenie drutu koło rury), umocujmy ją na jednym końcu (rys. 79.) a na drugim przytwierdźmy kawałek papieru *A* dla uwidocznienia ruchu sprężyny. Jeśli sprężynę ściśniemy, budzi się w niej siła sprężystości; zatem, gdy ją puścimy, sprężyna nie pozostanie ściśnięta, lecz pocznie powracać do pierwotnej długości, a gdy jej dosięgnie, wydłuży się jeszcze nieco przez bezwładność. Znak *A* będzie się poruszał na lewo i na prawo, będzie się *wahał*, podobnie jak kula wahadła, jak kawałek korka na kołyszącej się wodzie. Wahanie się tego znaku będzie więc wynikiem współdziałania sprężystości sprężyny oraz bezwładności sprężyny i znaku. Poznaliśmy poprzednio ruch wahadłowy, wynikający ze współdziałania ciężkości i bezwładności; obecnie poznajemy ruch wahadłowy, który wytwarzają: sprężystość i bezwładność.

Rys. 79.

Zróbmy teraz podobną, lecz długą sprężynę, ~~do 2 m np.~~ np. około 2 m długości. (Dobrze jest wziąć drut miedziany o grubości 2 *mm*, każdemu skrętowi dać około 7 *cm* średnicy i zrobić około 70 skrętów na długości 2 *m*). Zawieśmy sprężynę, jak na rys. 80. ~~str. 60~~ Uderzając koniec *A* młotkiem, ściśniemy naprzód tylko kilka pierwszych skrętów sprężyny; lecz ściśnięcie to udziela się niebawem dalej i biegnie przez sprężynę aż do drugiego jej końca. Powtórzmy to doświadczenie, przyglądając się uważnie ~~[illegible]~~ którymkolwiek jednemu miejscu sprężyny. ~~żeby dostrzedz, co właściwie będzie się odbywało w tem miejscu.~~

Rys. 80.

Uważana cząstka sprężyny pozostaje w spoczynku, dopóki (do niej nie doszło ściśnięcie); gdy doszło, ściska się raptownie, następnie zaś powraca do zwykłej postaci, przekazując ściśnięcie skrętom następnym; (jednak sama), skoro powróci do zwykłej postaci, nie wydłuża się po za nią, nie rozciąga się, albowiem oddała (całkowicie energią) skrętom następnym, zużyła ją całkowicie na ściśnięcie następnych. A zatem samo tylko ściśnięcie, bez rozciągnięcia, udziela się tu od końca do końca sprężyny. Możemy powiedzieć, że jedno ściśnięcie przebiegło sprężynę.

A B C

Rys. 81.

Gdybyśmy, przeciwnie, byli pociągnęli koniec A ku sobie, zamiast uderzyć go młotkiem, bylibyśmy rozciągnęli w pierwszej chwili kilka pierwszych skrętów i rozciągnięcie (bez ściśnięcia) byłoby przebiegło sprężynę; Pociągnijmy prędko scyzorykiem po skrętach sprężyny: ściśniemy kilka skrętów i rozciągniemy kilka następnych, tak iż, jedno za drugiem (jednocześnie) ściśnięcie (B) i rozciągnięcie (C) przebiegają sprężynę. (Rys.)

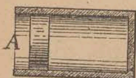
Opisaliśmy przejście jednego ściśnięcia, lub jednego rozciągnięcia, przez całą sprężynę. Wyobraźmy sobie teraz, że, uderzywszy koniec A młotkiem i wytworzywszy tym sposobem ściśnięcie, które przebiega sprężynę, uderzamy koniec A po raz drugi; np. w tej chwili, w której ściśnięcie, wywołane przez pierwsze uderzenie, obejmuje skręt dziewiąty, dziesiąty i jedynasty. Dwa ściśnięcia będą teraz przebiegały sprężynę; drugie będzie biegło za pierwszem w stałym odstępie, wynoszącym około 10 skrętów. Jeśli będziemy (uderzali podobnie dalej) koniec sprężyny, wywołamy w niej szereg ściśnięć, podążających za sobą; stałym odstępom czasu pomiędzy (uderzeniami kolejnemi) będą odpowiadały (odstępy stałe) pomiędzy ściśnięciami, biegnącemi jedno za drugiem. Takie zjawisko (nazywamy wogóle rozchodzeniem się fali ściśnięcia w sprężynie; (jeśli odstęp pomiędzy sąsiedniemi dwoma ściśnięciami) jest stały, nazywamy go wtedy długością tej fali. Zupełnie podobnie fala rozciągnięcia będzie przebiegała sprężynę, jeśli będziemy pociągali ku sobie koniec sprężyny w pewnych odstępach czasu; (jeżeli będziemy pociągali w odstępach czasu stałych, fala rozciągnięcia F). Nakoniec, możemy też i w następujący sposób pobudzać sprężynę: Uciskamy ją u końca, następnie

F która powstanie w sprężynie, będzie miała pewną określoną długość fali.

wyciągamy, znów ściskamy i tak dalej; naprzemian ściskamy i wyciągamy koniec sprężyny; poruszamy go więc w sposób wahadłowy wzdłuż sprężyny, t. j. w kierunku rozchodzenia się fal, lub (jak się mówi) podłużnie. Wówczas przez sprężynę pobiegnie szereg ściśnięć i rozciągnięć, jedne za drugiemi. Możemy powiedzieć, że w sprężynie rozchodzi się jednocześnie fala ściśnięcia i fala rozciągnięcia; fale takie nazywamy ogólnie falami podłużnemi. Jeśli chwile największego ucisku (a także największego ciągnienia) przypadają w równych odstępach czasu, wówczas, jak wiemy, miejsca największego ściśnięcia i największego rozciągnięcia w sprężynie będą odległe o równe odstępy długości, które nazwiemy: długością fali podłużnej.

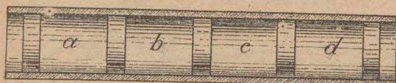
§ 62. Fala w powietrzu.

Powietrze jest również ciałem sprężystem; w powietrzu ściśniętem budzi się siła sprężystości podobnie, jak w sprężynie ściśniętej. Tłok np. A, bardzo lekki (rys. 82.), wepchnięty nagle do rurki, poruszałby się dzięki sprężystości powietrza naprzód i wstecz, podobnie jak znak A na sprężynie (rys. 79.), gdyby nie przeszkadzało mu tarcie o ścianki.



Rys. 82.

Wystawmy sobie rurę pełną powietrza i w niej szereg tłoków ruchomych (rys. 83.). Ściśnięcie powietrza w pierwszej przegródce a udzieli się niebawem dalszym przegródkom b, c, d t. j. pobiegnie przez rurę aż do drugiego jej końca, podobnie jak ściśnięcie kilku pierwszych skrętów w sprężynie (rys. 80.) pobiegło przez nią aż do drugiego



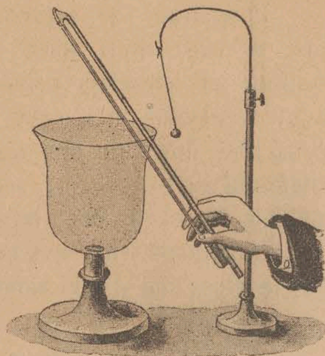
Rys. 83.

jej końca. Nie możemy tego osiągnąć istotnie w podobnym przyrządzie, z powodu tarcia o ścianki i innych oporów. Ale wyobraźmy sobie, że niema tarcia i oporów; wówczas moglibyśmy nietylko jedno ściśnięcie albo rozrzedzenie przesłać przez kolumnę powietrza abcd, moglibyśmy wytworzyć w niej falę ściśnięcia, albo falę rozrzedzenia, (wogóle albo) falę podłużną, złożoną z jednej i z drugiej, podobnie, jak wytwarzaliśmy je w długiej sprężynie. Rozchodzenie się tych fal w kolumnie powietrza byłoby skutkiem dwóch własności powietrza: 1) bezwładności powietrza i 2) sprężystości, okazywanej przez powietrze przy ściskaniu i przy rozrzedzaniu, czyli objętościowej sprężystości albo ściśliwości powietrza (§)

Takie właśnie fale podłużne biegną zawsze przez otwarte powietrze, pomimo, iż nie jest ono ujęte w żadne stałe przegrody, ile razy w niem rozchodzi się głos.

§ 63. Powstawanie głosu.

Uderzmy brzeg dzwonu lub pociągnijmy po nim smyczkiem; słyszymy *głos*. Zkąd głos powstaje? Możemy łatwo dowieść, że dzwon *drga*, dopóki głos się rozlega. Czujemy drganie dzwonu, dotykając go ostrożnie palcem lub ustami; jeśli dotkniemy za mocno, stłumimy drganie i zaraz też umilknie głos, który słyszymy. Zbliżajmy lekkie wahadełko (rys. 84.) do dzwonu, wydającego głos; będzie ono odskakiwało, potrącane raz wraz przez drgający dzwon. Struna dźwięcząca podrzuca lekkie skrawki papieru czyli »koniki«, które pozawieszaliśmy na niej; wygląda też jak gdyby grubsza, dopóki wydaje głos. Widzimy więc, że ***każde ciało drga gdy wydaje głos.***



Rys. 84.

§ 64. Głos rozchodzi się w powietrzu.

Jeśli drgający dzwon znajduje przed sobą palec, uderza o palec; jeśli spotyka wahadełko, uderza o wahadełko; a że zazwyczaj znajduje przed sobą powietrze, więc uderza o powietrze t. j. ściska czyli zgęszcza pierwszą, przylegającą doń warstwę powietrza. To ściśnięcie czyli zgęszczenie udziela się dalej, jak w sprężynie (rys. 80.), jak w rurce *abcd* (rys. 83.) i tym sposobem w powietrzu rozchodzi się ↓ ~~fala zgęszczenia~~. Ale tymczasem dzwon, odbywając drugą część drgania, poczyna się cofać i pociągać za sobą czyli rozrzedzać pierwszą, przylegającą doń warstwę powietrza; tym sposobem w powietrzu rozchodzi się T ~~fala~~ *rozrzedzenie*, które biegnie tuż zaraz za pierwszF, podobnie jak biegło za niem w sprężynie, w której rozchodzi się fala (§). Dzwon jednak, ukończywszy pierwsze wahnięcie, rozpoczyna drugie, przez co poczyna znów zgęszczać warstwę przylegającego powietrza tj. wysyła „drugie zgęszczenie". Zupełnie podobnie wyśle następnie „drugie rozrzedzenie", następnie „trzecie zgęszczenie" „trzecie rozrzedzenie" i t. d. i t. d. Od dzwonu pobiegnie więc w każdym kierunku fala podłużna w powietrzu, złożona ze zgęszczeń i rozrzedzeń, kolejno za sobą idących; a że fala pobiegnie w każdym kierunku, utworzy się więc fala kulista, w której postępujące zgęszczenia i rozrzedzenia mają kształt powierzchni kulistych, podobnie jak ~~fala~~ wstrząśnienia na powierzchni wody rozbiegają się w postaci (kręgów czyli) kół. Gdy zaś fala, biegnąca w powietrzu, dojdzie naszych uszu (lub dokładniej nerwu naszego słuchowego), wówczas usłyszymy głos. Istotnie też nie słyszymy wcale głosu dzwonka, zawieszonego wewnątrz bani szklanej, jeśli z tej bani wyciągniemy powietrze. Zatem powiadamy: gdy słyszymy głos, wtedy odbywa się poza obrębem naszej osoby tylko *ruch* pewnego rodzaju, mianowicie *falowanie powietrza*. Głos, który słyszymy, jest naszem *wrażeniem*, wywołanem przez to falowanie, podobnie jak ból, którego doznajemy, gdy ktoś uderzył nas laską, jest naszem wrażeniem, wywołanem przez ruch laski i jej uderzenie.

↓ pierwsze zgęszczenie.

T pierwsze

F em zgęszczeniem

Powietrze, w którem rozchodzi się głos, odbywa pewien ruch a więc musi mieć dzięki temu pewną *energią* (§ 23.). Istotnie: gdy strzelają z armat lub gdy rozlega się huczna muzyka, szyby w oknach drżą czyli »dzwonią«. Skutkiem bardzo potężnych wybuchów powstaje huk tak straszny, że pod naciskiem falującego powietrza szyby pękają, ściany się załamują a ucho ludzkie, jeśli znajdzie się na drodze, łatwo może uledz uszkodzeniu. Falowanie powietrza może więc wykonać pracę; powietrze, w którem rozchodzi się głos, ma ~~dzięki~~ temu T pewną energią. Powiadamy, że głos

T samem

(albo cichy,) jest słaby jeśli falowanie roznoszącego go powietrza posiada energię nieznaczną; jeśli (przeciwnie) energia falowania jest znaczna, utworny, że głos jest mocny, głośny, donośny. Od energii falowania zależy (więc) własność głosu, zwana natężeniem.

§ 65. Prędkość rozchodzenia się głosu.

W zwykłem powietrzu fale rozchodzą się z prędkością 340 *m* na sekundę. To znaczy, że ~~kiedy~~ powietrze pocznie falować w jakiemkolwiek miejscu, wówczas faluje ono o 340 *m* dalej od tego miejsca po upływie jednej sekundy. A zatem i głos w zwykłem powietrzu rozchodzi się z prędkością 340 *m* na sekundę. Niechaj jedna osoba *A* stanie w widnem miejscu, np. na małem wzniesieniu; druga osoba *B* niechaj oddali się od niej o 340 metrów. Przypuśćmy, że *A* uderza młotem w dzwon lub też rąbie drzewo, podnosząc za każdym razem młot czy siekierę wysoko do góry; *B* *zobaczy* wówczas ruch ręki o całą sekundę wcześniej, zanim *usłyszy* głos. Jeszcze lepiej ~~będzie~~ strzelić z pistoletu w porze nocnej; błysk wystrzału dobiega wcześniej, niż huk; pochodzi to ztąd, iż światło biegnie nadzwyczajnie, niezmiernie szybko (zob. rozdz. VI.), głos zaś biegnie z prędkością 340 *m* na sekundę. Zapomocą takich doświadczeń uczeni wymierzyli dokładnie prędkość rozchodzenia się głosu. Gdy piorun uderza, spostrzegamy błyskawicę prawie natychmiast po uderzeniu, grzmot zaś słyszymy dopiero o parę sekund później; jeśli ~~bowiem~~ uderzenie nastąpiło np. w odległości 1 *km* od nas, głos zużywa blizko 3 sekundy na przebieżenie w powietrzu tej odległości.

Jeszcze raz tu widzimy, że rozchodzenie się głosu polega na rozchodzeniu się pewnego wstrząśnienia w powietrzu a nie na rozchodzeniu się samego powietrza. Gdy strzelimy z ~~działa~~, głos czyli wstrząśnienie powietrza znajduje się już ~~o 340 m od działa~~ po upływie sekundy; tymczasem dym, wyrzucony ~~z armaty~~ (z armaty), znajduje się ~~wówczas~~ w odległości zaledwie kilku metrów od ~~[illegible]~~. Wystawmy sobie bardzo gęsty tłum ludzi; posłaniec zdoła z trudnością tylko i powoli poruszać się naprzód w tym tłumie; tymczasem list, podawany z rąk do rąk, albo wiadomość, podawana z ust do ust, biegnie z wielką prędkością. Podobnie pewna ilość powietrza lub dymu przeciska się z trudnością i stosunkowo powoli przez otaczające powietrze; ale wstrząśnienie powietrza, podawane z warstw do warstw, rozbiega się w niem z ogromną prędkością.

§ 66. Rozchodzenie się głosu w ciałach stałych.

Fala może biedz przez każde ciało sprężyste a zatem i głos może rozchodzić się w każdem ciele sprężystem. Połóżmy np. zegarek na końcu długiego stołu; nie słyszymy chodu zegarka przez powietrze, tymczasem, przyłożywszy ucho do drugiego końca stołu, słyszymy go wyraźnie. Połączmy dwa lekkie pudełka drewniane zapomocą sznurka. Niechaj ktoś z jednem pudełkiem odejdzie na odległość kilku lub kilkunastu metrów, aż się sznurek wypręży i niechaj mówi do pudełka, nie podnosząc głosu; nie usłyszymy mowy przez powietrze ale usłyszymy ją, przyłożywszy ucho do drugiego pudełka. Stukanie o słup telegraficzny słychać wyraźnie w słupie sąsiednim; górnicy mogą porozumiewać się ze sobą pukaniem przez ogromne pokłady węgla lub innych minerałów. Głos może również

jeżeli

, powstający z uderzenia. bytoby

zazwyczaj

albowiem,

armaty,

w odległości 340 m od miejsca wystrzału;

, po upływie sekundy, wylotu działa.

w nim

i ciekłych.

podłużna

rozchodzić się w cieczach. Zanurzywszy duży dzwon metalowy do rzeki lub stawu, uderzajmy w dzwon ten pod wodą zapomocą stosownego młotka. Moż~~[illegible]~~na wówczas usłyszeć głos dzwonu, nawet na stosunkowo znacznej odległości, posługując się rurą ~~w~~ lejkowatą, jaką wyobraża rys. ... Energia fal głosowych, rozchodzących się w wodzie, udziela się powietrzu, zawartemu w rurze UB, przez pośrednictwo błony sprężystej B, którą otwór B jest mocno obwiązany; do drugiego otworu U przykładamy ucho. Wyobraźmy sobie, że wykonano to doświadczenie w sposób następujący. Młotek, uderzający o dzwon, jest tak urządzony, że w chwili każdego uderzenia wysyła jakikolwiek sygnał świetlny, np. zapala nieco ~~[illegible]~~ prochu ~~w każdem uderzeniu~~ i sprawia tym sposobem krótki i nagły błysk za każdem uderzeniem. Słuchając za pomocą rury UB bicia dzwonu przez wodę, możemy ~~[illegible]~~ wówczas jednocześnie widzieć ~~[illegible]~~ sygnały, dawane przez młotek w chwilach kolejnych uderzeń. Przypuśćmy, że odległość pomiędzy dzwonem a rurą UB (wynosi 340 m) (w linii prostej). Przekonalibyśmy się wówczas, że głos dzwonu dochodzi nas już po upływie mniej niż ćwierci sekundy. A zatem głos ~~w~~ biegnie w wodzie przeszło 4 razy prędzej niż w powietrzu. W żelazie głos biegnie 15 razy prędzej niż w powietrzu; w drzewie biegnie około 18 razy prędzej niż w powietrzu, rozchodzi się więc w drzewie z ogromną prędkością około 6000 m na sekundę.

Dlaczego głos rozchodzi się w wodzie z inną prędkością niż w powietrzu? Rozchodzenie się głosu w jakiembądź ciele jest ~~[illegible]~~ istotnie rozchodzeniem się w niem fali podłużnej; fala zaś podłużna (w danem ciele) posuwa się tem łatwiej, im większą sprężystość ~~[illegible]~~ okazuje to ciało przy zmianach objętości, t.j. im trudniej jest ściśliwe; oraz tem trudniej, im większą masę fala ma do poruszenia, t.j. im większa jest gęstość ciała. Woda ma większą gęstość, niż powietrze; a zatem z tego względu głos powinienby rozchodzić się powolniej w wodzie, niż w powietrzu. Ale woda ma też nieporównanie większą sprężystość objętości, niż powietrze; woda jest nieporównanie trudniej ściśliwa (§); ten wpływ, ułatwiający bieg fali podłużnej, przeważa znacznie nad (wpływem przeciwnym) większej gęstości i sprawia ostatecznie, że głos w wodzie biegnie prędzej, niż w powietrzu. To samo, lecz w wyższym ~~[illegible]~~ stopniu jeszcze, można powiedzieć o żelazie i drzewie.

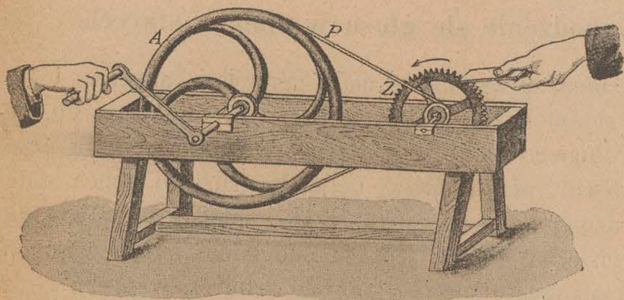
§ 67. Odgłos.

Umocujmy jeden koniec długiej sprężyny (rys. 80.) zupełnie stale, przytwierdźmy go np. do ściany i spróbujmy z drugiego końca wzbudzić w sprężynie falę. Fala powstaje, przebiega sprężynę, lecz, gdy dojdzie do ściany, zawraca się i biegnie po sprężynie napowrót. Jak piłka, rzucona o ścianę, odskakuje i biegnie napowrót, tak fala w sprężynie cofa się od ściany napowrót; powiadamy, że fala *odbija się* od ściany. Podobnie mogą odbijać się fale w powietrzu; ściany budynków, skały w dolinie, brzegi gęstego lasu odbijają fale w powietrzu i dlatego odbijają głos. Powierzchnia wody odbija również głos: na jeziorze lub stawie słychać mowę lub śpiew dalej niż na lądzie. Ciała porowate, jak tkaniny, kobierce i t. p. tłumią głos, ponieważ odbierają energię falowania powietrza, które obficie w sobie zawierają, a nie są same dość sprężyste, żeby nowe fale wysłać w powietrze.

Głos przebiega w powietrzu 340 m w ciągu sekundy. Przypuśćmy, że stoimy przed ścianą odbijającą głos doskonale, w odległości (dajmy na to) 3 m od niej. Jeśli wymówimy np. literę *a*, głos, który wydaliśmy, pobiegnie ku ścianie, odbije się i powróci do nas w ciągu $\frac{1}{57}$-ej części sekundy; albowiem tyle czasu potrzeba fali do przebycia 6 m w powietrzu. Ale samo wymówienie litery *a* trwa dłużej niż $\frac{1}{57}$-mą część sekundy; wymówienie litery *a* trwa od $\frac{1}{5}$ do $\frac{1}{10}$ części sekundy mniej więcej. A zatem odbijanie się głosu od ściany bliskiej może wzmacniać lub nieco przedłużać brzmienie, lecz nie wytworzy echa lub odgłosu, czyli głosu wyraźnego, odosobnionego powstającego przez odbicie. Echo powstaje, kiedy głos odbity powraca do miejsca wydania nie tylko po skończeniu się rzeczywistem pierwszego głosu, ale i po przebrzmieniu go w uchu.

§ 68. Głos urwany, głos ciągły.

Jeśli uderzymy laską o podłogę, powstaje głos krótki, urwany, który nazywamy stuknięciem. Przypuśćmy, że stukamy laską raz po raz, np. trzy razy w ciągu każdej sekundy; słyszymy wówczas wyraźnie każde uderzenie z osobna. Próbujmy teraz stukać coraz prędzej; wówczas jest nieco trudniej pochwycić każde uderzenie z osobna. Poręcze na moście lub na schodach składają się często z gęstego szeregu prętów żelaznych; biegnijmy wzdłuż takiej poręczy i prowadźmy po niej koniec naszej laski. Uderzenia następują tak szybko po sobie, że nie odróżniamy już każdego z osobna, lecz słyszymy *głos ciągły*. Doświadczenie to wykonamy lepiej przy pomocy koła zębatego *Z* (rys. 85.); można obracać je bardzo prędko, poruszając koło *A*, które przenosi ruch na koło *Z* przy pomocy pasa *P*. Przyłóżmy metalową blaszkę lub kartę tektury do zębów koła *Z*;



Rys. 85.

każdy ząb, przechodząc, będzie ją uderzał. Obracając powoli, słyszymy każde uderzenie z osobna; obracając prędzej, słyszymy głos ciągły, w którym rozpoznać przerw nie jesteśmy w stanie. Przypuśćmy, że na kole *Z* znajduje się 60 zębów. Jeśli obracamy tak powoli, że koło to wykonywa jeden obrót w ciągu dwóch sekund, wówczas karta otrzymuje 30 uderzeń w ciągu sekundy. Przekonamy się, że to jest mniej więcej granica, gdzie pojedyncze uderzenia łączą się w głos ciągły: obracając powolniej, słyszymy urwane głosy kolejnych uderzeń; obracając prędzej, słyszymy głos ciągły, bez przerw, czyli jednolity.

§ 69. Dźwięk; wysokość dźwięku.

Jeśli zęby na kole *Z* są równe i jeśli obracamy koło jednostajnie, wówczas kolejne uderzenia nie łączą się w bezładny hałas i brzękanie, lecz tworzą *dźwięk* czyli głos równy, stały; taki głos wydają też instrumenta muzyczne, taki wydajemy, śpiewając lub wymawiając samogłoski. A zatem dźwięki różnią się od innych głosów tem, że powstają z wstrząśnień równych i regularnych, t. j. powtarzających się w równych odstępach czasu.

Niechaj koło *Z* (rys. 85.) ma 60 równych zębów. Obracajmy je tak, ażeby jeden obrót jego trwał mniej więcej sekundę. Usłyszymy wówczas dźwięk *nizki*, jaki wydają np. organy, lub bas w orkiestrze. Obracajmy przeciwnie koło *Z* bardzo prędko, ażeby dokonywało np. 50, 60 lub 70 obrotów na sekundę; usłyszymy wówczas dźwięk ostry, *wysoki*. ~~jaki np. wydają~~ Skrzypce wydają dźwięki wysokie na najcieńszej strunie, dźwięki zaś nizkie na grubej. Fortepian po lewym końcu klawiatury wydaje dźwięki nizkie, a po prawym — wysokie. Dorosły mężczyzna mówi głosem nizkim, a dziecko — wysokim. Gdy jeden obrót koła *Z* trwał sekundę, głos powstawał z 60 uderzeń na sekundę; gdy zaś na sekundę przypadało 50, 60 lub 70 obrotów, głos powstawał z 3000, 3600 lub 4200 uderzeń na sekundę. Powiadamy zatem: kilkadziesiąt wstrząśnień na sekundę daje dźwięk nizki, a kilka tysięcy wstrząśnień na sekundę daje dźwięk wysoki.

Przypuśćmy, że mamy pewien dźwięk, np. złożony z 240 uderzeń na sekundę. W takim razie dźwięk, powstający z 480 uderzeń na sekundę, choć jest wyższy od pierwszego, ma przecież jakieś szczególne do niego podobieństwo, które słuch wprawny natychmiast poznaje. Mówi się w muzyce, że dźwięk taki jest ***wyższą oktawą*** pierwszego; że pierwszy na odwrót jest niższą oktawą drugiego.

Jak powiedzieliśmy, głosy nagłe i urwane (te np., do których stosujemy nazwy: „brzęk", „trzask", „stuk", „huk") powstają z uderzeń krótkich i nieregularnych. Pamiętając więc o tem, co powiedzieliśmy w § o tworzeniu się fal, widzimy, że, gdy takie głosy rozchodzą się np. powietrzem, wówczas w powietrzu niema właściwej regularnej fali o pewnej określonej długości fali, jest tylko gromada ścieśnień i rozrzedzeń, bezładnie biegnących. Dźwięki przeciwnie powstają z uderzeń regularnych i jednostajnych, a zatem dźwiękom odpowiadają fale prawdziwe, o długości fali doskonale określonej.

Uważajmy pewien dźwięk dokładnie określony; np. ten, który powstaje z 435 równych i regularnych uderzeń na sekundę. (Jest to tak zwany ton normalny, oznaczany literą a′ w muzyce, albo znakiem [nuta] w piśmie nutowem). Przypuśćmy, że dźwięk ten wydaje struna np. skrzypiec lub fortepianu.

Powiadamy, że struna udziela wówczas otaczającemu powietrzu 435 uderzeń w ciągu każdej sekundy. A zatem odstęp czasu, jaki upływa pomiędzy kolejnemi chwilami największego zgęszczenia, albo największego rozrzedzenia powietrza przez strunę, wynosi wówczas $\frac{1}{435}$ części sekundy. W powietrzu, pod wpływem tych uderzeń struny, wytwarza się regularna fala podłużna; ~~ile wynosi~~ jakaż będzie długość tej fali? Według § -go (długość ta wyniesie) tyle, ile głos w powietrzu ubiega w ciągu $\frac{1}{435}$-ej części sekundy. Ale głos w powietrzu ubiega 340 m w ciągu ~~całej~~ jednej sekundy, zatem ubiega $\frac{340}{435}$ (m) ~~[illegible]~~ czyli około 78 cm w ciągu $\frac{1}{435}$-ej części sekundy. Powiadamy więc, że długość fali, odpowiadającej ~~[illegible]~~ dźwiękowi a' wynosi w powietrzu około 78 cm. Dźwiękom (od a') wyższym będą odpowiadały oczywiście długości fal krótsze, dźwiękom niższym — długości fal dłuższe.

Rozdział IV

ROZDZIAŁ CZWARTY.

O cieple.

§ 70. Ciała zimne, ciała gorące.

Gdy włożymy rękę w śnieg, czujemy zimno; gdy trzymamy ją nad płomieniem, czujemy gorąco. Jeżeli włożymy kawałek żelaza w śnieg albo w płomień, możemy być pewni, że żelazo doznaje tam także pewnego działania, albowiem ulega pewnym zmianom, nabiera nowych własności; np. w płomieniu staje się samo gorące, poczyna być czerwone lub białe, wreszcie świeci w ciemności. Podobnie woda w naczyniu, wstawiona do płomienia, staje się gorąca a kiedy stanie się bardzo gorąca, zaczyna się gotować czyli *wrzeć*. Stając się przeciwnie bardzo zimną, woda *zamarza* t. j. zamienia się w lód. Wosk ogrzewany topi się~~;~~ papier ogrzewany zwęgla się lub też się zapala. A zatem ciała, sprawiające na nas wrażenie zimna lub gorąca, *działają nie tylko na nas*, lecz też i na inne ciała, mianowicie oziębiają je, ogrzewają je i sprawiają w nich zmiany rozmaite.

jak śnieg, albo płomień,

Poznajmy dokładniej, w jaki sposób ciała gorące ogrzewają. Nalejmy do szklanki chłodnej wody i włóżmy do niej gorący kawałek żelaza; po chwili woda jest letnia lub ciepła, lecz i ~~kawał~~ żelazo jest także letnie lub ciepłe; a zatem woda się ogrzała, lecz żelazo ostygło. ~~Podobnie~~ Piec napalony ostyga powoli w pokoju a jednocześnie powietrze w pokoju ogrzewa się. *Ciała gorące, ogrzewając inne ciała, same stygną.* Dlaczego nie widzimy, aby płomień ostygał, gdy grzeje? ponieważ w płomieniu palą się coraz nowe ilości płonącego ciała (dlatego świeca i nafta w lampie się wypala), przez co w płomieniu tworzy się coraz nowe gorąco. Podobnież ciała zimne, oziębiając, ogrzewają się same. Jeżeli wlejemy wosk roztopiony do wody lodowatej, zobaczymy, że woda oziębia go bardzo znacznie (tak, iż wosk krzepnie natychmiast) ale sama staje się przytem mniej zimna.

inne ciała.

, podobnie,

§ 71. Ciepło.

Ogrzewajmy płomieniem wodę lodowatą, do której włożyliśmy rękę. Woda staje się stopniowo coraz mniej zimna; po niejakim czasie nie wydaje się już zimna, ale jeszcze nie jest gorąca; później zaczyna być letnia, ~~jest~~ ciepła, nareszcie ~~jest~~ gorąca. Zatem widzimy, że *zimno* nie jest czemś różnem i odrębnem od *gorąca*. Woda, która ma ~~bardzo~~ mało ciepła ~~w sobie~~, jest zimna; woda, która ma ~~bardzo~~ dużo ciepła, jest gorąca. Przez *doprowadzanie* ciepła (z płomienia) zamieniliśmy wodę bardzo zimną na mniej zimną. Kiedy doprowadziliśmy jej dość ciepła, wydała się obojętną ~~dla ręki~~ t. j. ani zimną, ani gorącą; wówczas woda była równie ciepła jak ręka. Kiedy doprowadziliśmy jeszcze więcej ciepła, woda była cieplejsza od ręki i wydawała się gorącą. Zatem np. chłodna woda wydaje się chłodną dlatego, że jest mniej ciepła od ręki.

w sobie

A cap.

ręce

Istotnie: potrzymajmy rękę najprzód w wodzie lodowatej a zobaczymy, że tasama woda, która wydawała się chłodną, sprawi teraz wrażenie ciepłej. Przeciwnie, potrzymajmy rękę najprzód w wodzie gorącej a przekonamy się, że tasama woda wyda się zimną. Nie należy więc wogóle mówić, że jakieś ciało jest zimne lub że jest gorące; lecz raczej, że jest *mniej ciepłe lub bardziej ciepłe* np. *od ręki.*

Zróbmy następujące *porównanie.* Uważajmy wysokość różnych przedmiotów w pokoju. Mówi się o przedmiotach, umieszczonych niedaleko sufitu, że ~~są~~ znajdują się »wysoko«; o przedmiotach zaś, leżących ~~na~~ blizko podłogi, mówi się, że położone są »nizko«. Nie jest to ścisły sposób wyrażania się. Sufit ~~naszego~~ pokoju znajduje się dla nas „wysoko", ~~a~~ (zaś jednocześnie) dla kogoś, mieszkającego o piętro wyżej, położony jest „nizko". Zatem ściślej byłoby mówić, że niektóre przedmioty w pokoju są położone wyżej od nas (np. od ręki naszej lub głowy), że inne ~~zaś~~ są położone *niżej.* Podobnie nieściśle jest mówić, że jedne ciała są »gorące« a inne są »zimne«; należy mówić, że pierwsze są *bardziej ciepłe* a drugie *mniej ciepłe* od naszego ciała, np. od ręki lub czoła.

§ 72. O temperaturze.

Jeszcze lepiej byłoby powiedzieć w poprzedzającym przykładzie, że każdy przedmiot ma pewne *wzniesienie.* Lampa, wisząca u sufitu, jest bardziej wzniesiona, niż jeśli stoi na stole; piłka, rzucona do góry, jest bardziej wzniesiona, niż kiedy leży na podłodze. Podobnie mówimy, że każde ciało ma pewną *temperaturę.* Ciała gorące mają temperaturę *wyższą,* niż ciała dla ręki obojętne; ciała zimne mają temperaturę *niższą.* A zatem możemy tak opowiedzieć zachowanie się gorącego żelaza wobec wody chłodnej (§ 70.): temperatura żelaza z początku była wyższa niż temperatura wody; po włożeniu żelaza do wody temperatura żelaza poczęła się obniżać, temperatura wody poczęła się podnosić i po pewnym czasie temperatury tych ciał stały się jednakowe, *wyrównały się.* Powiadamy: ciała, mające temperaturę wyższą, udzielają ciepła ciałom, mającym temperaturę niższą; przez to temperatura pierwszych się obniża, drugich się podnosi; gdy zaś ciała mają temperatury jednakowe, ani nie udzielają sobie ani nie odbierają sobie ciepła nawzajem. A zatem *temperatura pewnego ciała jest to własność tego ciała, wskazująca, czy ono innym ciałom ciepła udziela, czy ~~mu~~ je od nich odbiera,* czy też nareszcie ~~ani udziela ciepła~~ wobec innych ciał zachowuje się obojętnie, nie udzielając i nie odbierając im ciepła.

§ 73. Zero temperatur.

Możemy nie tylko to stwierdzić, że jedne ciała w pokoju mają wzniesienie większe, niż inne; możemy *zmierzyć* wzniesienie każdego ciała w pokoju. Żeby mierzyć wzniesienia, należy zgodzić się na to, od jakiego poziomu mamy je liczyć. Lampa, wzniesiona o metr nad poziom stołu, może być wzniesiona o dwa metry nad poziom podłogi a jednocześnie o sześć metrów np. nad poziom ulicy; zatem podanie samego tylko wzniesienia, bez podania poziomu, od którego je liczymy, nie miałoby określonego znaczenia. Podobnie można nie tylko to stwierdzić, że temperatury jednych ciał są wyższe, niż innych, można jeszcze temperatury te *mierzyć;* lecz trzeba powiedzieć, od jakiego poziomu mamy rachować temperatury.

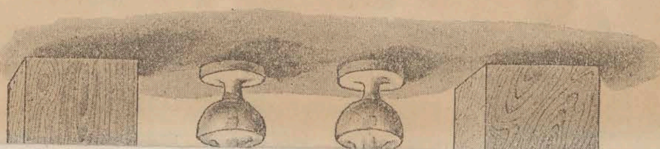
W pokoju możemy obrać podłogę za poziom, od którego rachujemy wzniesienia; jest to poziom najniższy, pod który nie można zejść w pokoju. Obierzmy *temperaturę topiącego się lodu* za poziom temperatur, od którego będziemy rachowali temperatury; innemi słowy temperaturę, jaką ma mięszanina lodu lub śniegu i wody. W pokoju nie możemy zejść poniżej podłogi, ale wiemy, że są ciała, które znajdują się niżej. Podobnie zazwyczaj mamy do czynienia z temperaturami wyższemi, niż temperatura topiącego się lodu; ale wiemy, że istnieją temperatury, niższe od tego poziomu (§ 82.).

Ażeby zmierzyć wzniesienie lampy lub obrazu na ścianie lub poziomu stołu po nad podłogą, ustawilibyśmy skalę tak, ażeby zaczynała się od podłogi i szukalibyśmy, jakiej podziałce odpowiada środek lampy, wierzch obrazu, lub powierzchnia stołu. A zatem umieścilibyśmy zawsze *zero* naszej skali na poziomie, od którego rachujemy wzniesienia. Dlatego nazwalibyśmy podłogę »poziomem zero« albo »zerem skali wzniesień«. Podobnie nazywamy temperaturę topiącego się lodu *temperaturą zero* albo *zerem skali temperatur*.

§ 74. O mierzeniu temperatur

Przypuśćmy, że obraliśmy poziom podłogi za „poziom zero"; cóż dalej czynimy, chcąc mierzyć wzniesienia przedmiotów w pokoju? Posługujemy się skalą, wskazującą np. centymetry. Zastanówmy się, czem jest skala? czem określone są położenia podziałek na skali? Oczywiście, trzeba wiedzieć, gdzie (podziałki na) skali się zaczynają (t.j. ustanowić jej „zero"); trzeba dalej wiedzieć, jak długie mają być podziałki, czyli gdzie ma kończyć się pierwsza, dziesiąta, albo setna. Trzeba obrać nietylko zero, ale jeszcze i inny jakibądź punkt czyli poziom na skali. Skala służy do porównywania wzniesień przedmiotów w pokoju ze wzniesieniem podziałki np. „100" na skali (po nad podziałką „0"; a takie porównywanie, jak wiemy, jest właśnie mierzeniem.

Zupełnie podobnie postąpimy w celu mierzenia temperatur. Obraliśmy już „zero" temperatur; musimy obrać jeszcze drugą temperaturę, leżącą wyżej od zera i nazwać ją np. temperaturą „sto". Umówmy się, że temperatura wody wrzącej ma nazywać się temperaturą „100". To jednak nie jest dostateczne. Musimy powiedzieć, w jaki sposób mamy podzielić odstęp między temperaturami zero i sto na sto jednakowych



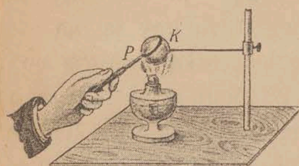
Rys. 88.

jednym końcu ciężarem P; pod drugi jej koniec podkładamy igłę tak, ażeby leżała wpoprzek sztaby i przylepiamy lekką wskazówkę E do uszka tej igły. Sztabka, ogrzewana, rozszerza się, więc porusza igłę i odchyla wskazówkę E. Przypuśćmy, że przed zapaleniem płomieni wskazówka stała pionowo; po zapaleniu zaczyna się zaraz odchylać, lecz po zgaszeniu zawraca i przybiera napowrót

od ich temperatury. Masa ciał nie zależy również od ich temperatury: ciała gorące spadają na ziemię równie prędko, jak zimne (por. § 26.); uderzenie młotem rozgrzanym nie sprawia skutku ani większego ani mniejszego, niż uderzenie młotem o zwykłej temperaturze.

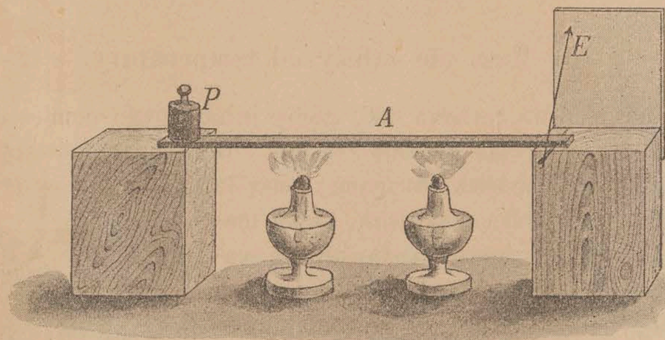
§ 76. Objętość zależy od temperatury.

Na deseczce drewnianej połóżmy mosiężną lub miedzianą sztabkę i wbijmy u jej końców dwa gwoździe tak, żeby zaledwie można było przesunąć sztabkę pomiędzy tymi gwoździmi. Ogrzejmy teraz sztabkę w płomieniu lampy a zobaczymy, że stała się ona dłuższa, bo nie przechodzi między tymisamymi gwoździmi. Podobnie możemy się przekonać, że nie tylko długość, lecz również szerokość i grubość sztabki zwiększa się wskutek ogrzewania.



Rys. 87.

Weźmy pierścień *P* (rys. 87.), nieco większy od kuli metalowej *K;* rozgrzawszy kulę, nie możemy *z żadnej strony* przeciągnąć przez nią pierścienia. A zatem *ciała rozszerzają się wskutek ogrzewania we wszystkich kierunkach; wskutek ogrzewania objętość ciał się powiększa.* Zbudujmy przyrząd, przedstawiony na rys. 88. Płaską sztabę żelazną lub miedzianą *A* przyciskamy na

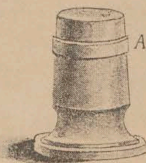


Rys. 88.

jednym końcu ciężarem *P*; pod drugi jej koniec podkładamy igłę tak, ażeby leżała wpoprzek sztaby i przylepiamy lekką wskazówkę *E* do uszka tej igły. Sztaba ogrzewana rozszerza się więc porusza igłę i odchyla wskazówkę *E*. Przypuśćmy, że przed zapaleniem płomieni wskazówka stała pionowo; po zapaleniu zaczyna się zaraz odchylać, lecz po zgaszeniu zawraca i przybiera napowrót położenie pionowe. Widzimy więc, że ciała, które rozszerzyły się wskutek ogrzania, kurczą się napowrót, gdy ostygają. Gdy temperatura podnosi się, objętość się zwiększa, ale zmniejsza się napowrót, gdy temperatura się zniża i staje się taką, jaką była pierwotnie, gdy temperatura wraca do wysokości pierwotnej. Objętość każdego ciała zależy więc od jego temperatury.

Tylko „zależy" kursywą

Na walec żelazny nieco stożkowaty (rys. 89.) gruba obręcz żelazna *A* nie wchodzi, dopóki jest zimna; rozgrzejmy ją do czerwoności a zobaczymy, że wchodzi. Wbijmy ją na walec, dopóki jest gorąca; stygnąc i kurcząc się, obręcz ściska walec tak mocno, że niebawem pęka. Z podobnych powodów druty telegraficzne zwisają podczas lata a prostują się w zimie. Szyny kolejowe, położone zimą, wykrzywiałyby się podczas lata, gdyby nie zostawiano przerwy ~~pomiędzy jedną a drugą~~ pomiędzy każdemi dwiema sąsiedniemi szynami, (zwykle około ½ cm) ażeby temu zapobiedz. Mostów żelaznych nigdy nie przymocowuje się w zupełności do podtrzymujących je podmurowań; dając się im swobodę rozszerzania i kurczenia się, sto-



Rys. 89.

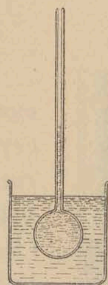
sownie do zmian temperatury. Im most jest dłuższy, tem końce jego odbywają ruch znaczniejszy skutkiem zmiany temperatury. Azeby to zrozumieć, powtórzmy doświadczenie ze sztabą (rys.) w sposób zmieniony. Drut AB (rys.), umocowany w A i wyprężony działaniem ciężaru P, jest otoczony rurą szklaną RT (prawie na całej swojej długości; przez korki R i T drut przechodzi swobodnie. Przepuśćmy (zob. §) parę wodną (pochodzącą z kociołka, w którym wre woda) przez rurę szklaną RT; drut rozszerza się, działa na wskazówkę OE, obracającą się na osi O i doprowadza tę wskazówkę do położenia np. OF. Powtórzmy to doświadczenie dwa razy na dwóch drutach rozmaitej długości; zobaczymy, że dłuższy drut rozszerzy się znaczniej. Przyrząd, wyobrażony na rys. ...., pozwala zmierzyć wydłużanie się drutu, ogrzewanego przez parę; albowiem wydłużenie się to BC jest krótsze od przesunięcia EF tyle razy, ile razy ramię wskazówki OB jest krótsze od ramienia OE. Przypuśćmy np., że drut jest miedziany; że część jego długości, ogrzewana przez parę wynosi metr; i że nareszcie OB mierzy np. 1 cm, OE zaś 50 cm. Przepuszczając parę, spostrzegamy przesunięcie EF np. 7.1 cm. Ztąd wynika, że drut miedziany, który ma długości 1 m, rozszerza się o 0.14 cm gdy ogrzewamy go do temperatury „100" od temperatury powietrza pokojowego. Gdybyśmy byli zaczęli od temperatury zero, bylibyśmy spostrzegli nieco większe rozszerzenie się, mianowicie 0.17 cm na metrze początkowej długości. Gdybyśmy dalej wzięli drut miedziany o długości 2 m w temperaturze zero, znaleźlibyśmy rozszerzenie 0.34 cm w temperaturze sto; i gdybyśmy wzięli 50 cm w zerze, znaleźlibyśmy rozszerzenie 0.085 cm w temperaturze sto i t. d. A zatem każdy centymetr drutu rozszerza się o pewną określoną długość przy danej zmianie temperatury, bez względu na to, ile w nim jest jeszcze innych centymetrów długości. — Krócej: drut miedziany, ogrzany od zera do stu, rozszerza się więc zawsze o $\frac{17}{10000}$ część swej długości pierwotnej; drut żelazny, ogrzany od zera do stu, rozszerza się o $\frac{12}{10000}$, drut srebrny o $\frac{19}{10000}$

Rys.

części swej długości; pręt szklany w tychsamych warunkach rozszerza się tylko o $\frac{8}{10\,000}$ części, cegła tylko o $\frac{5}{10\,000}$ części swej pierwotnej długości. Widzimy więc, że metale rozszerzają się znaczniej (niż inne ciała stałe) skutkiem ogrzania. Dlatego też w piecach, w paleniskach i t. d., ruszty, drzwiczki i wszystkie wogóle części metalowe powinny mieć swobodę rozszerzania się; jeżeli jej nie mają, giną się i wykrzywiają albo też części murowane doprowadzają do pękania.

§ 77. Rozszerzanie się cieczy.

Weźmy dość spory balon szklany o długiej i cienkiej szyjce i wypełnijmy go alkoholem; żeby widzieć ciecz wyraźnie, można ją zabarwić. Wstawmy balon (rys. 90.) do wody gorącej, pilnie zważając na poziom alkoholu w szyjce balonu. Zobaczymy, że w pierwszej chwili poziom alkoholu nieco opada, potem zatrzymuje się i poczyna iść w górę. Czyż alkohol kurczył się pod pierwszem działaniem ciepła? Bynajmniej. Zanim alkohol zaczął się ogrzewać, musiał ogrzać się przedtem balon szklany, który był wystawiony przedewszystkiem na działanie ciepła. Balon zaś, ogrzewając się, rozszerzał się, więc stawał się większym, pojemniejszym; dlatego alkohol musiał opadać. Później, gdy sam alkohol zaczął się ogrzewać, rozszerzył się i powetował z nadwyżką rozszerzenie się balonu. A zatem widzimy, że alkohol rozszerza się, gdy temperatura się podnosi; podobnie zachowują się i inne ciecze. Widzimy powtóre, że ciepło po pewnym czasie dopiero zdołało przeniknąć przez szkło do alkoholu. Zatem, gdy alkohol w szyjce balonu idzie do góry, przyrost objętości, jaki spostrzegamy, równa się rzeczywistemu rozszerzeniu się alkoholu, zmniejszonemu o rozszerzenie się szklanego balonu. Trzeba więc dodać rozszerzenie się balonu do spostrzeżonego przyrostu objętości, ażeby znaleźć rzeczywiste rozszerzenie się cieczy.

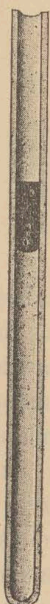


Rys. 90.

Przypuśćmy np., że mamy 100 *cm*³ wody o temperaturze 0 stopni (§ 73.). Tażsama ilość wody w temperaturze 100 stopni zajmie objętość 104 *cm*³. Gdybyśmy mogli ogrzać wodę, ogołoconą z wszelkiego naczynia, przyrost jej objętości wyniósłby 4 części na 100 pomiędzy temperaturami 0 i 100. Gdybyśmy teraz w temperaturze 100 chcieli ścisnąć napowrót wodę do pierwotnej objętości 100 *cm*³, musielibyśmy wywrzeć na nią olbrzymie ciśnienie; albowiem, jak wiemy (§ 35.), woda jest nadzwyczaj mało ściśliwa. Wystawmy sobie, żeśmy wywarli takie olbrzymie ciśnienie i ścisnęli wodę ze 104 do 100 *cm*³; wówczas woda ściśnięta wywiera nawzajem równie olbrzymie ciśnienie na tłok i ściany naczynia. Gdybyśmy w temperaturze 0 zamknęli wodę szczelnie w naczyniu (np. gdybyśmy zalutowali rurkę balonu, wypełnionego wodą) i później ogrzewali naczynie, wówczas musiałoby ono pęknąć; albowiem nie byłoby zdolne wytrzymać ciśnienia, jakie sprawia woda, której rozszerzaniu się próbujemy zapobiedz. Zupełnie podobne rozumowanie moglibyśmy zastosować do rozszerzania się ciał stałych, np. do przypadku sztaby żelaznej, którą ogrzewamy; wszakże żelazo jest jeszcze nieporównanie trudniej ściśliwe, niż woda. Ażeby zapobiedz rozszerzaniu się ogrzewanej sztaby lub kurczeniu się oziębionej sztaby, musielibyśmy więc wywierać na nią ciśnienia (zgoła) niezmierne; to nam tłomaczy

nadwyczającą potęgę skutków, sprawianych przez rozszerzanie i kurczenie się ciał stałych, o ~~czem~~ której przekonaliśmy się na kilku przykładach w artykule poprzednim.

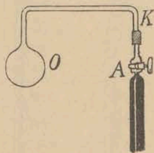
§ 78. Rozszerzanie się gazów.



Rys. 91.

Gazy pod działaniem ciepła rozszerzają się bardziej niż ciecze. Weźmy np. rurkę szklaną, z jednej strony zamkniętą (rys. 91.); wprowadźmy do niej kroplę rtęci, zanurzmy rurkę do topiącego się lodu i ustawmy kroplę tak, ażeby była odległa o 10 *cm* od zamkniętego końca naszej rurki. (Możemy bez trudności posuwać kroplę naprzód i wstecz, jeśli przy pomocy cieniutkiej rureczki lub drucika pozwolimy powietrzu rurki wychodzić i wchodzić). Przenieśmy teraz rurkę do gotującej się wody. Powietrze, zawarte w rurce, zaczyna się natychmiast rozszerzać, kropla posuwa się w rurce i zatrzymuje się w odległości 13·7 *cm* od zamkniętego końca. Powtórzmy teraz tosamo doświadczenie w taki sposób, ażeby kropla w topiącym się lodzie była odległa o 20 *cm* od końca rurki; wówczas w gotującej się wodzie zatrzyma się ona w odległości 27·4 *cm* od końca. Pamiętajmy, że tu na kroplę od strony zewnętrznej działało ciągle atmosferyczne ciśnienie; gdy kropla zatrzymywała się w pewnem miejscu, był to więc znak, że powietrze wewnętrzne wywierało także atmosferyczne ciśnienie. Powiadamy zatem: gdy ogrzewamy gaz i pozwalamy mu rozszerzać się swobodnie tak, ażeby ciśnienie jego ostatecznie nie ulegało zmianie, wówczas objętość gazu się powiększa, mianowicie *z każdego centymetra sześciennego gazu w temperaturze zero* ↓ ~~*robi się*~~ otrzymujemy *1·37 cm^3 w temperaturze sto.* ~~*stopni.*~~

Przypuśćmy teraz, że w tej temperaturze stu stopni chcemy ścisnąć każdy 1·37 cm^3 napowrót do objętości 1 cm^3. W tym celu musimy wywrzeć na gaz ciśnienie, większe 1·37 razy od obecnego, t. j. ciśnienie 1·37 atmosfery (§ 49.); nawzajem też powietrze, po sprowadzeniu do pierwotnej swej objętości, będzie wywierało także ciśnienie 1·37 atmosfery na swoje otoczenie. *Jeśli pewna ilość powietrza w pewnej objętości w temperaturze zero wywierała ciśnienie 1 atmosfery, wówczas w tejsamej objętości i w temperaturze sto* ~~*stopni*~~ *wywiera ciśnienie 1·37 atmosfery.* Możemy to sprawdzić zapomocą balonu szklanego *O* (rys. 92.), którego koniec *K* łączymy z lewem ramieniem przyrządu, rys. 59., § 46. Wstawmy balon raz do topiącego się lodu, drugi raz do gotującej się wody i podnośmy przytem prawe ramię przyrządu do góry tak, ażeby w obu razach poziom rtęci w lewem ramieniu stał tuż pod kurkiem. Gdy tak postąpimy, przekonamy się, że ciśnienie powietrza w gotującej się wodzie jest 1·37 razy większe, niż w topiącym się lodzie. Np., jeśli w temperaturze zero obadwa poziomy stały jednakowo wysoko, wówczas w temperaturze sto ~~stopni~~ prawy poziom będzie stał wyżej od lewego o 28 blizko centymetrów, bo 76 × 0·37 = 28 mniej więcej. Moglibyśmy też w tymsamym przyrządzie prowadzić doświadczenie tak, ażeby ciśnienie powietrza, zamkniętego w kulce O, pozostawało stałe; lecz wówczas objętość tego powietrza musi się zwiększać. Ob-



Rys. 92.

niżając prawe ramię przyrządu (rys.), w miarę ogrzewania się kulki, tak, ażeby poziomy rtęci w obu ramionach stały jednakowo wysoko, sprawimy, że powietrze będzie rozszerzało się (część jego przejdzie do lewego ramienia) ale pod ciśnieniem stałem. Wymierzywszy objętość kuli O wraz z jej rurką, oraz objętość, jaka odpowiada np. centymetrowi długości w lewem ramieniu (pod A), przekonamy się, że, z każdego cm³ w temperaturze zero powstaje 1.37 cm³ w temperaturze sto, jak znaleźliśmy wyżej.

Powtórzmy takiesame pomiary, napełniwszy balon O wodorem albo bezwodnikiem węglowym (co można uskutecznić za pomocą pompy rtęciowej, § , rys. , łącząc, po zrobieniu próżni, kurek k z przyrządem, wytwarzającym gaz badany). Przekonamy się, że oba te gazy zachowują się taksamo jak powietrze. Jeśli objętość pozostaje stała, ciśnienie ich, z jednej atmosfery w temperaturze zero, staje się = 1,37 atmosfery w temperaturze sto. Jeśli ciśnienie ich pozostaje stałe, objętość od zera do stu wzrasta w stosunku 1 do 1.37. Więc rozszerzalność gazów pod wpływem ogrzania jest jednakowa.

§ 79. Termometry.

Możemy teraz powiedzieć, w jaki sposób mamy podzielić na sto stopni odstęp pomiędzy temperaturami *zero* i *sto* (§ 74.). Weźmy np. balon szklany o długiej, cienkiej szyjce, takiż, jakim posługiwaliśmy się już wyżej w § 77 (rys. 90). Napełnijmy go oliwą, albo gliceryną, albo kwasem siarkowym, albo wreszcie wodą, w której rozpuściliśmy znaczną ilość salmiaku, soli kuchennej lub innej jakiej soli. Dla wyrazistości doświadczenia można ciecz dowolnie zabarwić. Wstawmy tak napełniony balon do topiącego się lodu; ciecz staje w rurce na pewnym poziomie *„0“*. W temperaturze wody wrącej staje ona podobnie na pewnym, wyższym od poprzedniego, poziomie *„100“*. Pomiędzy pierwszym a drugim poziomem mamy w rurce pewną objętość; tę objętość podzielmy na sto części. Otrzymamy tym sposobem podziałki 0, 1, 2, 3, ... nareszcie 99 i 100. Powiemy, że ciecz ma temperaturę np. 23-ch stopni, jeśli stoi w rurce na podziałce 23, t. j. jeśli objętość cieczy jest większa od objętości przy zerze o $\frac{23}{100}$ całkowitego rozszerzenia od zera do stu. Przyrząd taki nazywa się *termometrem*; szereg podziałek, odpowiadających stopniom, nazywa się *skalą* termometru. Stopnie oznacza się tak: 23° znaczy 23 stopnie. Termometr, wypełniony gliceryną, nazwiemy glicerynowym termometrem; wypełniony alkoholem nazwiemy alkoholowym i t. d.

Zupełnie podobnie bywają budowane termometry rtęciowe [redacted], używane częściej od innych. Miewają one zazwyczaj bardzo małe naczyńka t. j. zawierają bardzo mało rtęci, ażeby przybierały prędko temperaturę ciał otaczających. Jednakowoż, im mniej jest rtęci, tem mniejsze są też przyrosty objętości, których doznaje pod działaniem ciepła; dlatego, ażeby nawet małe przyrosty były dokładnie widoczne, daje się rurce termometrycznej nadzwyczaj drobne przecięcie. Na rys. 93, I oraz 93, II widzimy takie rtęciowe termometry, opatrzone skalą stustopniową, czyli skalą Celsyusza, wyżej opisaną. Niekiedy używane bywają też termometry, w których skala (zwana skalą Réaumura) zbudowana jest nieco inaczej; mianowicie punkt wrzenia wody jest wzięty w niej za stopień 80 (rys. ... III), nie zaś za 100; więc stopień skali Réaumura wynosi tyleż, ile $\frac{5}{4}$ stopnia skali Celsyusza. W książce niniejszej będziemy trzymali się wszędzie skali stustopniowej Celsyusza.

I II III

Rys. 93.

Należy o tem pamiętać, że stopnie skali termometru ~~termometrycznej~~ mają odpowiadać równym przyrostom objętości cieczy termometrycznej; a zatem stopnie skali powinny mieć objętości jednakowe, nie zaś ~~jedynie tylko~~ długości jednakowe. Jeśli (wnętrze) rurki termometru jest prawdziwym walcem, wówczas długościom jednakowym odpowiadają objętości jednakowe (rys. ... I); (inaczej zgoła) będzie, jeśli (wnętrze) rurki nie posiada postaci dokładnie walcowej (rys. ..., II). Można jednakowoż posłużyć się i rurką o wnętrzu niewalcowej postaci, jeśli się ją skalibruje, t. j. jeśli wyznaczy się na niej odstępy, odpowiadające objętościom jednakim, co można uskutecznić, przesuwając kroplę rtęci po rurce.

I

II

Jak alkohol lub rtęć, podobnie obrać można powietrze lub inne ciało gazowe za *ciało termometryczne* t. j. za ciało, którego rozszerzanie się pozwala mierzyć temperatury. Przyrządy np., opisane w § 78., można nazwać termometrami powietrznymi. Takie termometry (T gazowe) są bardzo dokładne, ponieważ gazy rozszerzają się znaczniej niż ciecze, ale są mniej dogodne i używane bywają przeważnie przez uczonych w naukowych badaniach.

T gazowe

Z powyższego widzimy, że ~~wszelki~~ termometr wskazuje, właściwie mówiąc, taką temperaturę, jaką ma w danej chwili jego ciało termometryczne. Gdy np. czytamy temperaturę na termometrze rtęciowym, wiemy, że jest to temperatura rtęci, w nim zawartej. Lecz ciała sąsiadujące udzielają sobie ciepła, dopóki temperatury ich nie staną się dokładnie jednakowe; zatem ~~każdy~~ termometr przyjmuje po pewnym czasie temperaturę swego otoczenia. Zanurzony np. w wodzie, wystawiony na powietrze, trzymany w dłoni, termometr wskaże po niejakim czasie temperaturę wody, powietrza lub dłoni. Niekiedy wszakże budują termometr umyślnie w tym celu, ażeby nie wskazywał temperatury jaką ma chwilowo, raczej żeby wskazywał najwyższą temperaturę, jaką przybrał w ciągu pewnego okresu czasu. Są to t. zw. maxymalne termometry, służące (pomiędzy innemi) i do celów lekarskich. Pomiędzy naczyńkiem a rurką znajduje się w niej zwężenie; rtęć rozszerzając się, przechodzi przez to zwężenie, kurcząc się natomiast nie przechodzi, się rozrywa, (częściowo) pozostaje w rurce i wskazuje tym sposobem temperaturę najwyższą, do której się podniosła. Lekkiem a nagłem uderzeniem można ją napowrót wprowadzić do naczyńka.

§ 80. O temperaturze ciał w pokoju.

Mając termometr, przekonajmy się, jakie są temperatury ciał, które nas otaczają. W pokojach mieszkalnych powietrze miewa zazwyczaj od 15° do 20°. Temperatura ciała człowieka wynosi mniej więcej od 30° (na dłoni) do 36° w stanie zdrowia, u gorączkującego człowieka podnosi się niekiedy aż do 41°. Pokarmy wydają nam się gorące, gdy mają około 60°, letnie — około 40°.

Przypuśćmy, że na stole znajdują się następujące ciała: kawałek żelaza, miseczka pełna rtęci, klocek drewniany, materya wełniana, nieco puchu. Dotykając tych ciał po kolei ręką, czujemy, że żelazo i rtęć wydają się bardzo zimne, drzewo nieco chłodne, wełna zaś i puch stosunkowo ciepłe. Jeżeli te ciała mają rzeczywiście temperatury niejednakowe, powinny dojść po niejakim czasie do temperatur jednakowych, jak wszelkie ciała sąsiadujące ze sobą. Pozostawmy je więc przez czas dłuższy w sąsiedztwie lub nawet w zetknięciu wzajemnem. Po upływie tego czasu zbadajmy je termometrem; termometr okazuje, że istotnie temperatura tych ciał jest jednakowa. Powtórzmy próbę ręką: żelazo i rtęć wydają się znowu zimne, drzewo — nieco chłodne, wełna i puch wydają się stosunkowo ciepłe. Włóżmy teraz żelazo, rtęć, drzewo, wełnę, puch i termometr do piecyka; gdy się dobrze ogrzeją, znów badajmy je ręką. Teraz, wprost ~~odwrotnie~~ przeciwnie, żelazo i rtęć wydają się bardzo gorące, drzewo sprawia wrażenie umiarkowanego gorąca, wełna i puch wydają się najmniej ogrzane. Cóż się tu dzieje? W pierwszym razie, gdy leżały na stole, wszystkie ciała (żelazo, rtęć, drzewo, wełna i puch) miały temperaturę jednakową, lecz niższą niż temperatura ręki; miały one temperaturę pokojową, a ręka ma temperaturę o 10° do 15° wyższą. W drugim razie miały one temperaturę także jednakową, lecz wyższą niż temperatura ręki. A zatem w pierwszym razie ręka się oziębiała, dotykając tych ciał; w drugim

2 1/2

razie, dotykając ich, ogrzewała się. Widocznie ręka *łatwiej, prędzej* przejmuje temperaturę żelaza i rtęci, niż temperaturę wełny i puchu; gdy są zimniejsze, żelazo i rtęć prędzej ją chłodzą, niż wełna i puch; gdy są cieplejsze, żelazo i rtęć prędzej ją ogrzewają.

§ 81. Jak prędko w różnych ciałach wyrównywa się temperatura.

Widzimy więc, że temperatura ciał sąsiadujących ze sobą (ostatecznie) wyrównywa się zawsze; ale do wyrównania tego przychodzi rychlej, kiedy ciepło płynie przez żelazo lub rtęć, niż kiedy płynie przez wełnę lub puch. Ażeby się krótko wyrażać, powiadamy: żelazo i rtęć są to dobre przewodniki; puch, wełna są złe przewodniki. Wogóle metale są najlepszymi przewodnikami; kamienie (marmur, cegła,) szkło, drzewo są gorszymi, a jeszcze gorszymi są takie ciała jak róg, korek, kauczuk, piasek. Wiemy to zresztą z codziennego doświadczenia; trzymając np. w ręku palącą się zapałkę, nie czujemy ciepła; tymczasem, gdy drut metalowy włożymy jednym końcem w płomień, wysoka temperatura rozchodzi się prędko po drucie, który parzy niebawem na przeciwległym swym końcu. Pomiędzy samemi metalami zachodzą znaczne różnice co do zdolności rozprowadzania podniesionej temperatury. Wstawmy w płomień dwa druty, jeden żelazny, drugi miedziany, lecz wymiarów jednakowych; zapałka, posuwana po drucie miedzianym, zapali się dalej od płomienia, niż posuwana po drucie żelaznym. Wykonajmy to doświadczenie dokładniej: mierzmy temperaturę drutów w jednakowej odległości od płomienia, np. w odległości 30 cm, i uważajmy czas, jaki upływa, aż temperatura ta podniesie się o pewną liczbę stopni, np. o 50 stopni, po nad początkową. Przypuśćmy, że w drucie miedzianym nastąpiło to po upływie minuty; w takim razie upłynie przeszło 6 minut, zanim tosamo podniesienie się zauważymy w żelazie. W drucie ołowianym spostrzeglibyśmy je, w tychsamych warunkach, po upływie wpełna 5 minut, w drucie, wyrobionym z glinu, już po 2 minutach; natomiast w kolumnie rtęciowej, która miałaby wymiary drutów, zauważylibyśmy tosamo podniesienie się dopiero po 25 minutach.

Bardzo złymi przewodnikami są ciała gazowe; gdyby powietrze nie było złym przewodnikiem, byłoby nam

trudno zapewne znosić styczność z niem w porze zimowej. Bardzo też złymi przewodnikami są ciała porowate i włókniste; wełna, płótno, filc, azbest, puch, wióry, trociny należą do najgorszych przewodników.

Lód, owinięty w szmaty, otoczony puchem lub wiórami, topi się bardzo powoli nawet w ciepłym pokoju. Położywszy nieco azbestu luźno na dłoni, można umieścić na azbeście (niezbyt ciężką) kulę żelazną, rozgrzaną do czerwoności i przez pewien czas trzymać ją bezkarnie. Dlatego ochraniamy się od mrozów futrami, dlatego okręcamy w zimie suknem klamki, poręcze i inne metalowe przedmioty, które są wystawione na zimno i których musimy dotykać.

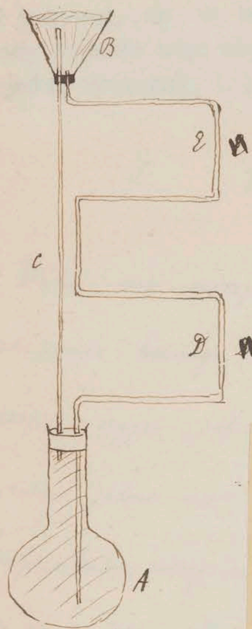
§ 82. Temperatury, wyższe od 100° i niższe od 0°.

W wodzie wrącej termometr pokazuje 100°. Ale są ciała, mające jeszcze wyższe temperatury; żelazo np. rozgrzane do czerwoności ma znacznie wyższą temperaturę. Podzielmy rurkę termometru (§ 79.) i po nad poziomem »100« na takiesame części równej objętości, jakie mieliśmy pomiędzy zerem a stu; to będą stopnie wyższe od 100°, więc 101°, 102° i t. d. Postąpmy zupełnie podobnie pod poziomem »zero«. Termometr pokazuje 0° w topiącym się lodzie; ale są ciała, mające jeszcze niższe temperatury: mięszanina śniegu z solą kuchenną okazuje niższą temperaturę, podobnież powietrze podczas mrozów zimowych. Podzielmy więc rurkę termometru i pod zerem na takiesame części, jakie mieliśmy pomiędzy zerem a stu; będą to stopnie oczywiście *ujemne*: —1°, —2°, —3° i t. d. Zero naszej skali nie jest więc bynajmniej najniższą możliwą temperaturą, lecz jest pewną, dowolnie obraną temperaturą; niższe od niej temperatury nazywamy ujemnemi podobnie, jak w Arytmetyce liczby mniejsze od zera nazywamy ujemnemi. W mięszaninie np. śniegu i soli świeżo przygotowanej znajdujemy do —20°.

§ 83. Gęstość ciał zależy od ich temperatury.

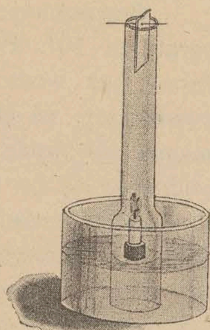
Weźmy wodę o temperaturze 0° i ogrzejmy ją do 100°. Masa tej wody nie zmieni się (§ 75.), lecz objętość jej się powiększy. Tasama masa wody w temperaturze 100° zajmuje więc objętość większą niż w 0°; tasama liczba gramów zajmuje więcej centymetrów sześciennych. A zatem w temperaturze 100° zawiera się w jednym centymetrze sześciennym masa mniejsza niż w 0°; innemi słowy, *gęstość* wody (§ 29.) w 100° jest mniejsza niż w 0°. Tosamo stosuje się do wszystkich ciał, które rozszerzają się, gdy temperatura ich się podnosi: *gęstość ich jest mniejsza w wyższej niż w niższej temperaturze.*

Więc np. woda gorąca jest mniej gęsta niż zimna, podobnie jak korek jest mniej gęsty niż woda. Nic dziwnego zatem (§ 44.), że woda gorąca pływa po zimnej, jak to spostrzegamy, przygotowując ciepłą kąpiel w wannie. Zbudujmy przyrząd, wyobrażony na rys. . Balon szklany A oraz rurki: prosta C i powyginana DE są całkowicie wypełnione wodą; do lejka B nalewamy wody jakkolwiekbądź zabarwionej. Ogrzewając A od spodu, spostrzeżemy, iż woda gorąca wstępuje z A prosto do góry drogą C i wypychając wodę zabarwioną z B, zmusza ją do płynięcia ku dołowi przez rurkę ED. Na podobnej zasadzie polega ogrzewanie budynków zapomocą wody gorącej; zbiornik A



znajduje się np. w piwnicy, B na poddaszu budynku, E zaś i D wyobrażają piętra mieszkalne.

Z zupełnie tegosamego powodu powietrze ogrzane wypływa do góry, gdy zimne pozostaje u dołu; toteż widzimy, że w pokoju, w którym palą się lampy lub piec silnie grzeje, ~~pod sufitem zbiera się~~ powietrze gorące zbiera się ~~się~~ pod sufitem. Wszelki płomień, jak wiadomo z Chemii, wymaga ciągłego dopływu powietrza, albowiem zużywa nie tylko materyał palny (np. drzewo, węgiel, naftę, gaz oświetlający, stearynę), lecz też i *tlen*, zawarty w powietrzu. Z drugiej strony płomień wytwarza ciała gazowe, które powstają przez łączenie się materyału palnego z tlenem; ciała te gazowe, będąc gorące, wraz z powietrzem, ogrzewanem przez płomień, biegną do góry i tworzą prąd; ~~który~~ prąd ten nazywamy dymem, jeśli unoszą się w nim drobne cząstki niespalonego węgla. Zbliżmy płomień lampy lub świecy do obłoku dymu (np. tytuniowego), wiszącego spokojnie w powietrzu pokoju; będziemy mogli zauważyć dokładnie prąd poziomy zimnego powietrza, płynący *ku* płomieniowi od wszystkich boków i jednocześnie prąd pionowy gorący, płynący *od* płomienia po nad jego wierzchołkiem. Umieśćmy świecę na korku, pływającym po wodzie (rys. 94.); zapalmy świecę i wstawmy cylinder szklany na płomień, jak pokazuje rysunek. Płomień przeprąd gorący ku górze, ale nie ma zkąd ciągnąć dopływu świeżego powietrza; dlatego też po chwili słabnie i gaśnie. Lecz jeśli powtórzymy doświadczenie, wstawiwszy pionowo w cylinder kawałek tektury, płomień nie zgaśnie, albowiem jedną stroną cylindra będzie ciągnął świeże powietrze, drugą zaś będzie parł gazy gorące ku górze. Istotnie: dym tytuniowy, wpuszczony po pierwszej stronie cylindra, odbędzie w nim taką drogę, najprzód na dół a potem do góry. Rozumiemy teraz, dlaczego »ciągną« kominy i przewody kominowe, idące (wewnątrz ścian) od pieców i ognisk aż po nad dach budynków.


Rys. 94.

Wentylacya, czyli sztuczne przewietrzanie budynków (nader pożyteczne dla zdrowia ich mieszkańców), polega najczęściej na zużytkowaniu własności ogrzanego powietrza, objaśnionych w artykule niniejszym.

§ 84. Określenie grama.

Powiedzieliśmy w § 28., że gramem nazywa się masa, zawarta w jednym centymetrze sześciennym wody. Widzimy teraz, że trzeba dodać, jaka ma być temperatura tej wody, albowiem np. centymetr sześcienny wody gorącej ma mniejszą masę niż centymetr sześcienny zimnej. Umówiono się, że gramem jest masa, zawarta w centymetrze sześciennym wody o temperaturze 4°; tasama temperatura obowiązuje oczywiście w określeniu kilograma i t. d. Gram wody o temperaturze 100° zajmuje ~~więc~~ 1·04 cm^3; odwrotnie jeden centymetr sześcienny takiej wody zawiera masę 0·96 grama; innemi słowy, woda wrząca ma gęstość 0·96. W tem-



peraturach pokojowych gęstość wody jest bardzo mało co mniejsza od jedności, np. w temperaturze 16° wynosi 0·999; gram takiej wody zajmuje więc objętość, większą od sześciennego centymetra o jedną tysiączną, t. j. o jeden sześcienny milimetr.

§ . Woda w temp. 4° ma gęstość największą.

Woda ma szczególną właściwość, polegającą na tem, że, ogrzewana od 0° do 4°, nie rozszerza się, lecz przeciwnie kurczy; natomiast pomiędzy 4° a 100° woda rozszerza się za ogrzaniem. Weźmy balon o cienkiej długiej szyjce, jak w § (rys.); wypełnijmy go wodą i ustawmy (do dwóch kąpieli po kolei); mniej więcej jedna ma 0°, druga 4°. Zobaczymy, że woda w szyjce stoi ostatecznie, po wyrównaniu się temperatur, niżej w 4° niż w 0°. Ztąd (nie można jeszcze) wnosić, że woda skurczyła się w przejściu od 0° do 4°, albowiem balon rozszerzył się i stał się pojemniejszy (§). Jednakże opadnięcie wody w szyjce wynikło tylko w części z rozszerzenia się balonu; rzeczywiście, ustawiwszy balon z wodą do trzeciej kąpieli, mającej 8°, zobaczymy (po wyrównaniu się temperatur) małe podniesienie się wody w szyjce balonu. Widocznie pomiędzy 0° a 4° rozszerzanie się balonu i kurczenie się wody, działając ~~[illegible]~~ zgodnie, dodają ~~[illegible]~~ się; pomiędzy 4° zaś a 8° rozszerzanie się ~~[illegible]~~ ~~[illegible]~~ balonu i rozszerzanie się wody, działając przeciwnie, odejmują się od siebie.

Uważajmy jeden gram wody. Według poprzedzającego §-u, zajmuje on 1 cm³ w temperaturze 4°. Gdybyśmy (wyobraźmy) oziębili go do 0°, musiałby on zająć, jak teraz wiemy, objętość większą niż 1 cm³. Gdybyśmy ogrzali go, np. do 8°, musiałby również zająć objętość większą niż 1 cm³. A zatem widzimy, że gram wody zajmuje najmniejszą objętość w temperaturze 4°. Ztąd wniosek, że w danej liczbie centymetrów sześciennych pomieści się więcej gramów wody w 4°, niż w jakiejkolwiek innej temperaturze. Woda w 4° ma gęstość największą. Możemy przekonać się o tem zapomocą przyrządu wyobrażonego na rys. Nalawszy do naczynia szklanego wody mającej 8° do 10°, wsypujemy lód (z solą) do metalowego; wówczas dolny termometr t obniża się do 4° i zatrzymuje się na tej temperaturze. Górny termometr T (nie zmienia swego stanowiska z początku); dopiero, gdy dolny stanął na 4°, górny obniża się, ale nie zatrzymuje się na 4° i spada do 0°. Wszystko to łatwo zrozumieć na mocy poprzedzającego.



§ 85. O ilości ciepła.

Przypuśćmy, że mamy w naczyniu kilogram wody o temperaturze 10°. Potrzymajmy to naczynie nad płomieniem i uważajmy, jak woda ogrzewa się. Po pięciu minutach ma np. 30°; powiadamy, że przez ten czas pewna *ilość ciepła* przeszła z płomienia do wody. Potrzymajmy jeszcze pięć minut: temperatura podniesie się do 50°; z płomienia przeszła więc na wodę druga

ilość ciepła, równa pierwszej. Przez dziesięć minut płomień oddał wodzie ilość ciepła dwa razy większą, niż przez pięć minut. Użyjmy płomienia większego lub dwóch płomieni zamiast jednego; zobaczymy, że woda po upływie 5 minut ogrzewa się do temperatury wyższej niż 30°, np. do temperatury 55°; a zatem płomień większy dostarcza też znaczniejszej ilości ciepła w czasie jednakowym. Z tego widzimy, po pierwsze, że pewna ilość wody potrzebuje pewnej ilości ciepła, ażeby ogrzać się od pewnej temperatury do innej temperatury; powtóre, że pewna ilość ciepła może być dwa, lub trzy, lub ilekolwiek razy większa albo mniejsza od innej ilości ciepła. Stąd wynika, że *ilości ciepła można mierzyć*. Długości można mierzyć, gdyż każda długość jest pewną liczbę razy dłuższa lub krótsza od metra t. j. od jednostki długości. Podobnie każda ilość ciepła jest pewną liczbę razy większa lub mniejsza od ilości ciepła, jakiej potrzebuje kilogram wody, ażeby ogrzać się o jeden stopień. *Tę ilość ciepła obieramy za jednostkę* i nazywamy ją *kaloryą*. Inne ilości ciepła mierzymy przez porównywanie ich z kaloryą.

§ 86. Ogrzewając się, różne ciała pochłaniają różne ilości ciepła.

Kilogram wody, ogrzewając się o stopień, pochłania kaloryą. Zatem np. masa wody, mająca trzy kilogramy, ogrzewając się również o stopień, pochłonie trzy kalorye, albowiem każdy z trzech kilogramów, składających tę masę, pochłonie sam przez się jedną kaloryą. Masa wody 5 *kg.*, ogrzewając się o stopień, pochłonie podobnie 5 kaloryj. *Każde ciało, ogrzewając się o pewną liczbę stopni, pochłania ilość ciepła tem większą, im masa jego jest większa.*

Porównajmy teraz ilości ciepła, potrzebne do jednakowego ogrzania *rozmaitych ciał* w jednakowej masie. Weźmy np. trzy jednakowe naczynia, nalejmy do nich jednakowe masy wody, alkoholu i terpentyny. Ogrzewając po kolei wodę, alkohol i terpentynę tymsamym płomieniem w sposób jednakowy, zobaczymy, że terpentyna ogrzeje się do pewnej temperatury, np. do 50°, w czasie krótszym niż alkohol, alkohol w czasie krótszym niż woda. A zatem terpentyna potrzebuje najmniej a woda najwięcej ciepła, ażeby ogrzać się o pewną liczbę stopni. Lecz nie możemy być pewni, czy płomień grzeje zawsze jednakowo; wykonajmy więc doświadczenie inaczej. Ogrzejmy 100 *gr.* wody do 100° i zmięszajmy je ze 100 *gr.* wody, mającej temperaturę pokojową, więc np. 15°. Temperatura po zmięszaniu wyniesie oczywiście 57·5°, albowiem woda o temperaturze 15° zyskała taką ilość ciepła, jaką straciła woda o 100°; pierwsza więc ogrzała się o 42·5°, druga oziębiła się o tyleż. Weźmy dalej 100 *gr.* ~~terpentyny~~ wody, ogrzanej do 100° i 100 gr. terpentyny o temperaturze np. 15°. Po zmięszaniu tych cieczy, przekonamy się, że temperatura ich wspólna wynosi 75°. A zatem woda oziębiła się teraz o 100 − 75 t. j. o 25 stopni; terpentyna zaś ogrzała się o 75 − 15 czyli o 60 stopni. Że jednak tu terpentyna ~~otrzymała~~ pobrała tę samą właśnie ilość ciepła, którą straciła woda, więc powiadamy: ilość ciepła, która ogrzewa 100 gr. terpentyny o 60 stopni, byłaby w stanie ogrzać 100 gr. wody tylko o 25 stopni. Więc kilogram terpentyny wymaga mniejszej ilości ciepła, niż kilogram wody, do ogrzania się jednakowego, mianowicie mniejszej w stosunku 25 : 60 albo około 0.42 : 1.00. Lecz kilogram wody pochłania 1 kaloryę, ogrzewając się o 1 stopień; zatem kilogram terpentyny pochłania

0.42 kalorji, ogrzewając się o 1 stopień. W podobny sposób można dojść, że np. kilogram alkoholu pochłania 0.60 kalorji, ogrzewając się o stopień, kilogram żelaza — nieco więcej niż 0.10, kilogram miedzi nieco mniej niż 0.10 kalorji; kilogram rtęci — nieco więcej niż 0.03 kal. W jednakowych warunkach potrzeba więc około 30 razy więcej ciepła, ażeby ogrzać wodę, niż, ażeby ogrzać rtęć.

§ 87. Punkt topliwości.

Nalejmy nieco wody do szklanki; przypuśćmy, że temperatura wody wynosi 15°. Możemy łatwo obniżyć temperaturę wody; wstawiając ją np. do mięszaniny śniegu i soli (§ 82.) i ciągle mięszając, możemy doprowadzić temperaturę do 10°, do 5° i nareszcie do 0°. Ale np. do —10° *nie możemy* doprowadzić wody, albowiem w temperaturze 0° woda *zamarza*. Postąpmy odwrotnie. Weźmy nieco lodu; lód jest zimny, ma np. temperaturę —12°. Możemy lód ogrzać, doprowadzić go np. do —8°, do —5°, do —1°; ale nie możemy doprowadzić go do +10° np., albowiem w temperaturze 0° lód *topi się*. Powiadamy: lód może mieć temperatury niższe od zera lub też samo zero, lecz nie może mieć temperatury wyższej. Woda może mieć temperaturę wyższą od zera lub też samo zero, lecz nie może mieć temperatury niższej. Jedyną więc temperaturą, którą może mieć i lód i woda, jest temperatura 0°. Dlatego w tej temperaturze 0° może istnieć mięszanina lodu z wodą t. j. lód i woda mogą stykać się ze sobą w 0° bez topienia się lodu i bez zamarzania wody. Jeśli więc mamy *lód* lub *śnieg* (który składa się z drobniutkich kryształków lodu) *wilgotny*, t. j. poczynający się topić, możemy być pewni, że temperatura w tej mięszaninie lodu lub śniegu z wodą wynosi 0°.

Powiadamy inaczej, że 0° jest *temperaturą* lub *punktem topliwości* lodu lub raczej tego ciała, które bywa bądź lodem, bądź wodą, zależnie od temperatury.

§ 88. Czemu jedne ciała są ciekłe a inne są stałe.

Jak temperatura 0° jest punktem topliwości lodu, podobnież temp. 31° jest punktem topliwości masła, temp. 63° punktem topliwości wosku, temp. 115° punktem topliwości siarki; każdy rodzaj ciała ma własny punkt topliwości. Zatem np. *siarka* jest ciałem stałem poniżej 115° a ciałem ciekłem powyżej 115°. Dlaczegóż nazywamy zwykle siarkę ciałem stałem? Ponieważ widujemy ją zazwyczaj w temperaturach, które leżą znacznie niżej od jej punktu topliwości. Gdybyśmy żyli w atmosferze, mającej np. 130°, widywalibyśmy siarkę w temperaturach, wyższych o 15 stopni od jej punktu topliwości i uważalibyśmy ją za ciecz. Żyjemy/ właśnie w temperaturach, wyższych// ~~zazwyczaj~~ o 15° od punktu topliwości wody i dlatego jesteśmy przyzwyczajeni do uważania wody za ciecz. Ale zwykła woda jest stopionym lodem, podobnie jak siarka w 130° jest stopioną siarką. Podobnie *rtęć* nazywamy cieczą dlatego, że punkt topliwości rtęci leży nizko (w —39°); lecz na wyprawach podbiegunowych ludzie znosili nieraz temperatury takie jak ~~—39° i niższe~~ a wówczas rtęć wydawała im się ciałem stałem, które można kuć, krajać na kawałki i t. d. Jeszcze niżej leży punkt topliwości np. alkoholu. Przeciwnie, punkt topliwości metali leży bardzo wysoko; np. punkt topliwości/ ołowiu ~~wynosi~~ 325°, miedzi około 1/200°, / że-

/ zazwyczaj

// mniej więcej

↓ cyny (wynosi) 227°,

/ 1

/ stali około 1300°

§ 86. Ogrzewając się, różne ciała pochłaniają różne ilości ciepła.

[illegible]

laza około 1600°. Czemu więc jedne ciała są ciekłe a inne stałe? Ponieważ temperatury, w których żyjemy, są wyższe od punktów topliwości pierwszych, a niższe od punktów topliwości drugich.

~~Niektórych~~ Wielu ciał nie można stopić dlatego, iż *rozkładają się*, zanim stopiłyby się, gdy je ogrzewamy. Z tego powodu nie można stopić np. drzewa, papieru, lnu, wełny i t. d.; wszystkie te ciała rozkładają się na węgiel i na części lotne czyli zwęglają się pod działaniem ciepła. Inne ciała, jak np. czysty węgiel, glina, topiąc się w temperaturach nadzwyczajnie wysokich, wytrzymują temperaturę zwykłego ognia bez stopienia; z nich przeto wyrabiają t. zw. ogniotrwałe naczynia oraz cegły do pieców.

Niektóre ciała (np. żelazo, saletra, lód) pozostają twarde i sztywne prawie do samego punktu topliwości; takie ciała nie dają się urabiać w dowolne kształty, chyba pod działaniem olbrzymich sił. Inne ciała, przeciwnie, mięknąją już w temperaturach znacznie niższych od punktu topliwości i dają się wtedy ~~[illegible]~~, krajać, giąć, wyciągać, wydymać i t. d. Szkło, lak, smoła stanowią przykład takich właśnie ciał, zwanych <u>plastycznemi</u>.

§ Lód pod ciśnieniem.

~~Wiemy z § 29 go, że jeden centymetr sześcienny lodu waży około $\frac{9}{10}$ grama, zatem 1 gram lodu zajmuje objętość $\frac{10}{9}$ czyli $1\frac{1}{9}$ cm³~~ Wyobraźmy sobie 1 gram ~~(czystej)~~ wody w temperaturze 0°; zajmuje on prawie dokładnie 1 cm³ (por. § 84.) Przypuśćmy, że ~~[illegible]~~ ten gram ~~[illegible]~~ wody <u>zamarza</u> t. j. staje się gramem lodu ~~[illegible]~~ o temp. 0°; wówczas zajmuje on $1\frac{1}{9}$ cm³ (zob. § 29) w temp. 0°. A zatem gram lodu wypełnia objętość o $\frac{1}{9}$ cm³ większą niż gram wody; to też lód pływa po wodzie (por. § 44)

A zatem lód jest jakgdyby rozszerzoną, rozciągniętą wodą; a woda jest jakgdyby mocniej ściśniętym, zagęszczonym lodem; woda ~~w~~ bowiem w jednym centymetrze sześciennym zawiera więcej masy niż lód, mianowicie o $\frac{1}{10}$ grama więcej. ~~[illegible]~~ Jeśli tak jest, tedy ściskanie i ugniatanie lodu powinno sprzyjać topieniu się. Tak też jest istotnie. Śnieg albo lód potłuczony, który jest dość zimny, żeby nie topił się na powietrzu (jak to zimą ~~często~~ często widzimy) stopi się odrazu, gdy go poddamy dużemu ciśnieniu. Ale ciepło bezpośrednie ~~[illegible]~~ topi ~~[illegible]~~ lód o wiele skuteczniej niż ciśnienie. ~~Jeśli lód ma temperaturę −1°, trzeba~~ Pomieśćmy np. śnieg lub lód tłuczony w walcu pod tłokiem, Rys. 37 w § 35 i próbujmy go stopić ciśnieniem. Jeśli lód ma temperaturę −1°, to musielibyśmy położyć 1600 kg na tłok przyrządu (mającego 10 cm² przecięcia), ażeby ~~go~~ lód stopić bez ~~[illegible]~~ ogrzewania go wcale.

§ 89. Ciepło topliwości.

Weźmy dwa jednakowe naczynia; w jednem pomieśćmy kilogram lodu o temperaturze 0°, więc już poczynającego się topić, w drugiem kilogram wody o temperaturze 0°. Postawmy te naczynia obok siebie w pokoju; zobaczymy, że woda przybierze temperaturę pokojową już wówczas, gdy dopiero nieznaczna część lodu będzie stopiona. Ciepło, napływające z powietrza, w naczyniu z wodą idzie odrazu na podnoszenie temperatury, gdy tymczasem w naczyniu z lodem zużywa się przedtem na topienie lodu. Weźmy dalej kilogram lodu, mającego 0° i oblejmy go kilogramem wody gorącej, mającej 80°. Gdybyśmy, zamiast lodu, wzięli wodę o 0°, otrzymalibyśmy 2 kilogramy wody o 40° (§ 86.). Tymczasem obecnie otrzymujemy 2 kilogramy wody ciekłej, mającej 0°. Woda gorąca straciła więc 80 kaloryi, które pobrał lód, ażeby stopić się. Trzeba wprowadzić 80 kaloryi do kilograma lodu o temperaturze 0°, ażeby zamienić go na kilogram wody o tejże temperaturze. I odwrotnie trzeba odebrać 80 kaloryi kilogramowi wody o temperaturze 0°, ażeby zamienić go na kilogram lodu o tejże temperaturze. Mówimy, że *ciepło topliwości* wody wynosi 80 kaloryi na kilogram.

Ciepło topliwości wody jest więc stosunkowo dość znaczne. To też płomień, który szybko ogrzewa, który np. podnosi temperaturę pewnej masy wody o kilkanaście stopni w ciągu kilku minut, musi pracować znacznie dłużej, przez kilkadziesiąt minut, nad stopieniem równej masy lodu. Potrzeba wielu dni odwilży, ażeby stopić znaczne masy śniegu, leżące po śnieżnej zimie na polach; albowiem powietrze nie jest w stanie prędzej dostarczyć 80 kaloryi każdemu kilogramowi śniegu. I odwrotnie woda w stawie lub jeziorze zamarza nieraz dopiero po kilku dobach mrozu, gdyż zimne powietrze nie jest w stanie prędzej odebrać 80 kaloryi każdemu kilogramowi wody.

§ 90. Para wodna.

Puśćmy kroplę wody na tafelkę szklaną; po niejakim czasie kropli niema; *wyschła* ona, jak powiadamy. Podobnie wysycha zmoczona bielizna lub ziemia, gdy oddawna nie było deszczu. Z butelki otwartej woda również wysycha; ale z zakorkowanej butelki nie wysycha; jeśli zamknięcie jest szczelne, wody wcale nie ubywa. Stąd widzimy, że woda, wysychając, nie ginie, tylko się *ulatnia* czyli *paruje* t. j. zamienia się na ciało gazowe, na *parę wodną* i jako para rozchodzi się w powietrzu. Weźmy wodę gorącą; woda taka zamienia się na parę obficiej, niż zimna; dlatego przedmioty wilgotne w cieple łatwiej wysychają. Nalawszy szklankę wodą gorącą do połowy, mamy w górnej połowie pełno pary wodnej. Przykryjmy szklankę zimnym talerzem; para wodna w zetknięciu z talerzem *skrapla się* i pokrywa go gęstą rosą. A więc ⊤ woda może mieć postać trojaką: ciała stałego, ciekłego i gazowego; w tej ostatniej nazywamy ją *parą wodną*.

Ogrzewajmy nieco wody w szklanem naczyniu // aż pocznie *wrzeć*. Tworząca się para skrapla się z początku na chłodnych ścianach naczynia; później, gdy ∟ samo naczynie jest ~~już~~ gorące, para strumieniem wybiega w powietrze. Zauważymy wówczas, że para skłębia się w nieprzezroczysty obłoczek dopiero w pewnej odległości od otworu naczynia; wnętrze naczynia, wypełnione parą, jest zupełnie przezroczyste. A zatem ~~sama~~ *para wodna jest przezroczysta i niewidzialna*, jak powietrze; co zwykle nazywamy parą, nie jest ciałem gazowem czyli właściwą parą, lecz parą ~~już~~ *skroploną* na maleńkie kropelki, unoszące się w powietrzu.

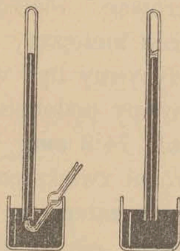
⊤ powiadamy:

//, o dość wązkiej szyjce

∟ już

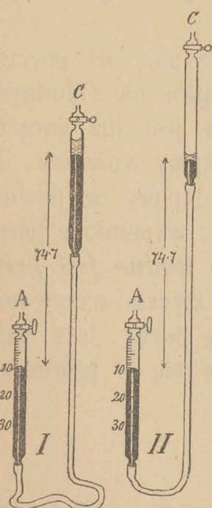
§ 91. Ciśnienie pary.

Jak powietrze i jak każde w ogóle ciało gazowe, para wodna wywiera ciśnienie; zobaczmy, jak znaczne ciśnienie wywiera. Gdy woda ulatnia się w powietrzu, para powstająca miesza się z powietrzem; więc, żeby mieć ciśnienie samej tylko pary, pozwólmy wodzie ulatniać się w próżni. Wprowadzamy wodę do rurki barometru w sposób, jaki objaśnia rys. 95. Jak tylko woda [w rurce] wypłynie ponad rtęć, próżnia wypełnia się parą wodną i słup w barometrze się obniża. O ile słup się obniża, zależy od temperatury. W temperaturze 10° obniżka wynosi 0·9 *cm*, w temperaturze 15° wynosi 1·3 *cm*, w 20° zaś 1·7 *cm*. Lecz wiemy, że obniżka słupa barometrycznego wskazuje tu ciśnienie ciała gazowego, które dostało się do próżni. Powiadamy zatem: woda w 10° wytwarza parę o ciśnieniu 0·9 *cm* rtęci; w 15° oraz w 20° wytwarza parę o ciśnieniu 1·3 oraz 1·7 *cm* rtęci.


Rys. 95.

§ 92. Ciecz i para w zetknięciu.

Tosamo doświadczenie możemy wykonać zapomocą przyrządu, przedstawionego na rys. 60., (rys. 96. str. 84.). Wprowadźmy nieco wody po nad rtęć w *C* przed zamknięciem kurka; następnie podnieśmy rurkę *C*, jak na rys. 60, III. Różnica w wysokościach poziomów rtęciowych będzie teraz mniejsza wskutek ciśnienia pary wodnej. Przypuśćmy np., że mamy 15° w pokoju; różnica w wysokościach jest teraz 74·7 *cm*, gdy poprzednio wynosiła 76 *cm*. Położenie poziomów rtęciowych jest więc takie, jak na rys. 96, I. Podnieśmy rurkę prawą *C* znacznie do góry; rtęć w niej zejdzie niżej i objętość próżni znacznie się powiększy (rys. 96, II.). Zmierzmy znowu różnicę wysokości poziomów; wynosi ona, jak wprzódy, 74·7 *cm*. Natomiast obecnie jest nieco *mniej* wody ciekłej nad rtęcią, niż w położeniu I. Co tu się stało? Gdy powiększyliśmy objętość pary wodnej w *C*, ciśnienie jej zmniejszyło się; albowiem ciśnienie wszelkiego ciała gazowego (§ 49.) zmniejsza się, gdy objętość ~~jego~~ się zwiększa. Lecz wówczas ciekła woda nad rtęcią znalazła się w *C* pod ciśnieniem *mniejszem* niż 1·3 *cm*, zaczęła więc wytwarzać nowe ilości pary. Przez to ciśnienie pary powiększało się; gdy doszło napowrót do 1·3 *cm*, woda przestała dalej parować. Dlatego znaleźliśmy w położeniu II. ilość wody ciekłej nieco mniejszą, ciśnienie zaś pary [równie wielkie] ~~takiesame~~, jak w położeniu I. Gdybyśmy byli wykonali to doświadczenie w temperaturze 20°, bylibyśmy podobnie znaleźli: że różnica wysokości poziomów wynosi stale 74·3 *cm*; że ilość wody ciekłej zmniejsza się, gdy objętość próżni zwiększamy, zwiększa się zaś, gdy ją zmniejszamy. Powiadamy zatem: *w każdej temperaturze woda wytwarza parę o pewnem określonem ciśnieniu;* nazywa się ono *ciśnieniem nasycenia*. Jeśli ciśnienie pary nad wodą jest mniejsze niż ciśnienie nasycenia, wówczas woda paruje; jeśli jest większe, para się skrapla. Jeśli ciecz i para są ze sobą w zetknięciu i ani woda [nie] paruje ani para się skrapla, wówczas para ma właśnie ciśnienie nasycenia.



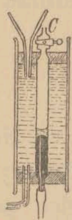
Rys. 96.

§ 93. Ciśnienie nasycenia rośnie z temperaturą.

Przejdźmy teraz do wyższych temperatur. Otoczmy (rys. 97., str. 85.) rurkę *C* poprzedniego przyrządu szeroką rurą szklaną.

i nalejmy do niej wody gorącej; zważajmy zawsze na to, ażeby nad rtęcią w rurce *C* znajdowała się woda ciekła. Mierząc różnice wysokości poziomów rtęciowych, znajdziemy ciśnienia nasycenia wody w różnych temperaturach. Znajdziemy:

3·1 *cm* w 30°	35·5 *cm* w 80°
9·2 *cm* w 50°	52·5 *cm* w 90°
23·3 *cm* w 70°	76·0 *cm* w 100°.

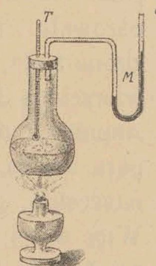


Rys. 97.

Gdy temperatura się podnosi, ciśnienie nasycenia rośnie coraz bardziej i dochodzi do ciśnienia atmosferycznego (76 *cm*) w temperaturze 100°. Powyżej 100° ciśnienie nasycenia wody staje się jeszcze większe, np. w 110° wynosi już 107·5 *cm*.

§ 94. Punkt wrzenia.

Rozumiemy teraz, że, kiedy ogrzewamy wodę w otwartem naczyniu, temperatura wody nie może podnieść się po nad 100°. Istotnie: woda znajduje się wówczas pod ciśnieniem 76 *cm* a że tworząca się para rozchodzi się w powietrzu, więc ciśnienie nie może podnieść się po nad 76 *cm*, zatem i temperatura wody ponad 100°. To też w tej temperaturze 100° woda zamienia się całkowicie na parę w otwartem naczyniu; mówimy, że *woda wre w temperaturze 100° pod ciśnieniem atmosferycznem*. Temperatura 100° nazywa się dlatego *temperaturą* lub *punktem wrzenia* wody. Gdybyśmy gotowali wodę w zamkniętem naczyniu (rys. 98.), para nie rozchodziłaby się w powietrzu, ciśnienie jej podnosiłoby się ponad 76 *cm*, jak pokazuje położenie rtęci w rurce *M*; wówczas temperatura podniesie się po nad 100°, jak pokazuje termometr *T*. Pod ciśnieniem większem niż atmosferyczne woda wre w temperaturze wyższej niż 100°. ~~Przeciwnie, gdybyśmy~~



Rys. 98.

Zastosowanie tej zasady znajdujemy w kotłach parowych, służących do wytwarzania pary dla maszyn parowych (§). Do niektórych maszyn potrzeba pary o znacznem ciśnieniu, naprzykład o ciśnieniu kilkunastu atmosfer; woda, gotująca się w kotle, ma wówczas temperaturę dochodzącą do 200° i wyżej.

Gdybyśmy przeciwnie umieścili naczynie z wodą pod dzwonem pompy pneumatycznej i wyciągali wciąż powietrze i tworzącą się parę, np. tak, ażeby ciśnienie pod dzwonem wynosiło ~~wciąż~~ stale 35·5 *cm*, wówczas temperatura wody nie mogłaby podnieść się ponad 80°; więc pod dzwonem wrzenie odbywałoby się w temperaturze 80°. Pod ciśnieniem mniejszem niż atmosferyczne woda wre więc w temperaturze niższej niż 100°. Wiemy np., że na szczytach gór ciśnienie powietrza jest mniejsze niż zwykłe atmosferyczne ciśnienie (§ 56.); to też na szczycie Łomnicy woda wre w temperaturze 91°, na szczycie Mont-Blanc w temperaturze 84·4° zamiast w 100°, jak u poziomu morza.

§ 95. Para wodna w powietrzu.

Nalejmy wody do butelki, potem zamknijmy butelkę i postawmy ją w pokoju, gdzie mamy np. 15°. Co znajduje się w butelce ponad wodą? Mięszanina dwóch ciał gazowych: powietrza i pary wodnej. Ile jest jednego a ile drugiego? W próżni woda wytworzyłaby parę o ciśnieniu 1·3 *cm*; w obecności powietrza wytworzy ostatecznie parę o takiemsamem ciśnieniu, jak w próżni; obecność powietrza nie ma wpływu na ciśnienie nasycenia. Gdybyśmy więc

mogli zmierzyć w butelce ciśnienie pary wodnej samej przez się i ciśnienie powietrza samego przez się, przekonalibyśmy się, że pierwsze wynosi 1·3 *cm* a drugie 74·7 *cm;* razem 76 *cm.*

W otwartem powietrzu znajduje się zawsze para wodna, albowiem woda mórz, rzek, jezior, woda znajdująca się w ziemi i w roślinach i wszelka w ogóle woda, prócz szczelnie zamkniętej, wytwarza wciąż parę. Powietrze więc w pokoju ma w sobie również parę wodną a nawet często zawiera jej więcej, gdyż wytwarza [illegible] [illegible], oddychając, wytwarza ją każdy płomień i t. d. Przypuśćmy, że w pewnym pokoju jest tyle pary wodnej, iż sama przez się wywierałaby ona ciśnienie np. 0·9 *cm;* temperatura powietrza niech wynosi 15°. Ciśnienie nasycenia dla 15° równa się 1·3 *cm*, zatem para nie będzie się skraplała a woda ciekła w tym pokoju będzie parowała. Ale przypuśćmy, że wnieśliśmy do tego pokoju jakieś zimne ciało, np. karafkę pełną śniegu. Powietrze, stykające się z powierzchnią karafki, będzie się oziębiało; temperatura jego zejdzie stopniowo do 14°, do 13° i t. d.; nareszcie, gdy dojdzie do 10°, para wodna, która jest w tem powietrzu, znajdzie się pod ciśnieniem nasycenia, gdyż dla 10° ciśnienie 0·9 *cm* jest ciśnieniem nasycenia. Więc w tej temperaturze para wodna powietrza skropli się i osiądzie na karafce w postaci *rosy.* Z tego właśnie powodu w porze zimowej szyby w oknach pokrywają się rosą (lub nawet lodem) od strony wewnętrznej, od strony pokoju; ażeby temu zapobiedz, w sklepach palą małe płomyczki w pobliżu szyb w wystawach sklepowych. Jeśli drzwi z ogrzanego pokoju (a jeszcze bardziej z kuchni lub pralni) prowadzą wprost na dwór, widzimy wówczas zimą podczas mrozu, że kłęby pary buchają za otwarciem drzwi; para wodna w pokoju ma ciśnienie mniejsze niż ciśnienie nasycenia, jest więc ciałem gazowem i jest niewidzialna (§ 90.); w temperaturze zaś zewnętrznego powietrza skrapla się i tworzy chmurę, złożoną z ciekłych kropelek. Para, którą wyziewamy z płuc, nie skrapla się z tegoż powodu podczas lata, lub w ogrzanym pokoju, skrapla się zaś na mrozie.

W podobny sposób powstają *opady atmosferyczne,* jak deszcz, śnieg i t. d.; zdarzają się one najczęściej z tej przyczyny, że powietrze wilgotne i ciepłe z nad ziemi podnosi się ku górze, spotyka się [illegible] z zimnem powietrzem, skutkiem czego wydziela z siebie parę wodną w postaci ciekłej lub stałej.

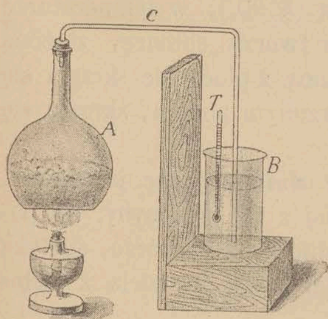
§ 96. Punkty wrzenia różnych ciał.

Punkt wrzenia wody pod ciśnieniem atmosferycznem wynosi 100°; punkt wrzenia alkoholu wynosi 78°, punkt wrzenia eteru siarczanego wynosi 35°. Ciała te nazywamy więc cieczami, gdyż widujemy je zazwyczaj w temperaturach, niższych od ich punktów wrzenia. Gdybyśmy żyli w temperaturze np. 40° (w krajach gorących zdarzają się takie upały), eter siarczany byłby dla nas ciałem gazowem. Zupełnie podobnie mają się rzeczy np. z powietrzem, z tą tylko różnicą, że punkt wrzenia powietrza leży nadzwyczaj nizko, mianowicie o 190 stopni pod zerem, czyli w −190°; w tej temperaturze zatem powietrze się skrapla. W temperaturach, w których żyjemy, powietrze znajduje się mniej więcej o 200° ponad swym punktem wrzenia, dlatego jest dla nas ciałem gazowem. Metale, przeciwnie, mają bardzo wysokie punkty wrzenia. Rtęć topi się w −39°, wre zaś w 357°; cynk, który topi się w 412°, wre około 950°. Inne metale wrą jeszcze wyżej i w ogniu naszych pieców nie dochodzą do wrzenia; ale na słońcu znajdują się takiesame metale jak na ziemi; są one tam wszystkie ciałami gazowemi wskutek niezmiernie wysokich temperatur, jakie tam panują.

Tablicę punktów wrzenia zob. na str.

§ 97. Ciepło parowania.

Do naczynia B (rys. 99., str. 88.) wprowadźmy kilogram wody, mającej temperaturę 0°; naczynie to ochrońmy złymi przewodnikami od dopływu ciepła z zewnątrz, zwłaszcza od płomienia. Przez rurkę C wpuszczajmy do B parę wodną, która wytwarza się w A. Bańki pary z początku nikną w wodzie lodowatej, później przechodzą coraz łatwiej, nareszcie, gdy temperatura w B dojdzie do 100°, przestają się skraplać. Zważmy wodę w naczyniu B, gdy temperatura dojdzie do 100°; przekonamy się, że przybyło jej 187 gramów. A zatem 187 gramów pary wodnej przyniosło ze sobą i oddało wodzie zimnej w B ilość ciepła, potrzebną do ogrzania kilograma wody od 0° do 100°, czyli 100 kaloryi; więc 1 gram pary oddał $\frac{100}{187}$ czyli 0·536 kaloryi a kilogram pary oddałby 536 kaloryi. Widzimy więc, że kilogram pary wodnej, skraplając się, oddaje swemu otoczeniu 536 kaloryi. Odwrotnie też *potrzeba doprowadzić 536 kaloryi, ażeby zamienić kilogram wody ciekłej, mającej 100°, na kilogram pary, również mającej 100°*. Ta ilość ciepła nazywa się *ciepłem parowania* wody. Widzimy, że jest ono podobne do ciepła topliwości (§ 89.). Przechodząc ze stanu stałego w stan ciekły, ciało pochłania ciepło topliwości; przechodząc ze stanu ciekłego w stan gazowy, pochłania ciepło parowania. // Ciepło parowania wody jest bardzo znaczne; to też pomimo, iż woda paruje bardzo powoli w zwykłej temperaturze, czujemy chłód, gdy kropla wody ulatnia się na dłoni. Ażeby mieć wodę chłodną podczas upałów, dość owinąć karafkę wody w wilgotną serwetę i wystawić ją na wiatr lub dmuchać na nią mieszkiem. Alkohol a jeszcze bardziej eter siarczany ulatniają się prędzej od wody w zwykłej temperaturze; bliżej im w tych temperaturach do punktu wrzenia, wytwarzają więc parę o większem ciśnieniu. Dlatego też alkohol i eter, ulatniając się, chłodzą bardzo znacznie, choć ich ciepło parowania jest mniejsze, niż wody; kropla eteru sprawia na dłoni wrażenie zimna. Zwilżywszy kapsułkę miedzianą od spodu wodą, nalawszy w nią eteru i kierując na eter silny prąd powietrza, możemy zamrozić wodę, która przylgnęła do kapsułki. Doświadczenie to objaśnia zasadę sztucznego wyrabiania lodu, które w wielkich miastach często się praktykuje.



Rys. 99.

// A cap.

§ 98. Zamiana pracy na ciepło.

Przypomnijmy sobie treść §§ 17. do 23. Przekonaliśmy się w nich, że *praca nie ginie*. Praca, wydana np. na skręcenie sprężyny, na podniesienie kamienia, na rzucenie kuli, nie ginie, nie jest stracona; albowiem sprężyna skręcona ma energią, kamień podniesiony ma energią, kula biegnąca ma energią t. j. może zwrócić nam pracę wydaną. Ale // ~~kiedy~~ przesuwamy np. skrzynię po podłodze, wówczas na przezwyciężenie tarcia musimy wydać pewną ilość pracy; czyż skrzynia przesunięta ma energią? czy może zwrócić nam pracę wydaną? ~~Zapytujemy:~~ co w ogóle dzieje się z pracą, idącą na przezwyciężenie jakiegobądź tarcia? Praca nigdy nie ginie; więc praca, którą wydajemy na przezwyciężenie jakiegobądź tarcia, musi się w coś przeobrażać czyli na coś zamieniać. Istotnie; *zamienia się ona na ciepło*. Przypomnijmy sobie, że każda oś w powozie, wagonie kolejowym, czy jakiejkolwiek maszynie, grzeje się przez tarcie o panewkę; ażeby tego uniknąć, staramy się zmniejszyć tarcie, smarując trące się powierzchnie. Przyciskajmy kawałek żelaza do obwodu koła, które się

// zapytujemy: gdy

↓o //-enie Γa

prędko obraca a rozgrzejemy żelazo tak znacznie, że niepodobna będzie utrzymać go w dłoni. Dzicy nie innym sposobem, jak tarciem, rozniecają ogień a i my posługujemy się tym sposobem, ażeby zapalić zapałkę t. j. ażeby doprowadzić jej łebek do temperatury, w której zaczyna się palić. Gdy przesuwamy więc skrzynię po podłodze, pewna ilość ciepła niewątpliwie musi powstawać i temperatura skrzyni i podłogi musi nieco się podnosić, choć tak nieznacznie, że potrzebaby użyć czułych przyrządów, ażeby się o tem przekonać.

Widzimy zatem, że przez tarcie praca zamienia się na ciepło. Gdy kowal uderza ciężkim młotem sztabę żelazną, praca jego mięśni zamienia się z początku na energią ruchu, następnie ta energia podczas uderzenia zamienia się na ciepło. Widzimy w nocy, że iskry wyskakują koniom na bruku z pod podków; to dowodzi, że uderzenie żelaza o kamień jest zdolne nie tylko odłupać drobny odłamek kamienia, lecz i rozgrzać go do białości. Potrząsając mocno butelką, w której jest woda, możemy podnieść temperaturę wody o kilka stopni. *Wszelka energia zamienia się łatwo, na ciepło.* ~~jak gdyby chętnie,~~

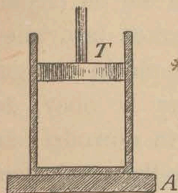
§ 99. Z pewnej ilości pracy otrzymuje się zawsze pewną ilość ciepła.

Ażeby podnieść kilogram o wysokość metra, trzeba wykonać pracę, zwaną kilogrammetrem, którą, jak wiadomo z § 35-go, obiera się często za jednostkę pracy

Z wielu doświadczeń uczeni przekonali się, że z 425 kilogrammetrów pracy otrzymuje się zawsze 1 kaloryą ciepła, jeśli praca całkowicie zamieniła się na ciepło. Żeby otrzymać 2 kalorye ciepła, trzeba 850 kilogrammetrów pracy; żeby otrzymać 3 kalorye, trzeba 1275 kilogrammetrów i t. d. Przeciwnie, z 1 kilogrammetra otrzymuje się $\frac{1}{425}$ część kaloryi i t. d. Wystawmy sobie np., że kilogram wody spada na podłogę kamienną z wysokości 425 metrów. Praca, którą wykonała siła ciężkości, ściągając kilogram ku dołowi, wynosi 425 kilogrammetrów, powinno się więc pojawić w owym kilogramie ciepło w ilości jednej kaloryi. Ponieważ jest to kilogram wody, więc temperatura podniesie się o 1 stopień; gdyby ciepło wytworzone z 425 kilogrammetrów pracy pojawiło się w kilogramie miedzi, ilość ~~jego~~ ciepła tego wynosiłaby znowu 1 kaloryą, ale temperatura podniosłaby się o 10 stopni (por. § 86.); gdyby to był kilogram rtęci, podniosłaby się o 30 stopni (§ 86.). Zatem podniesienie temperatury zależy od rodzaju ciała, ale ilość ciepła wytworzonego nie zależy ani od rodzaju ciała, ani od niczego innego, jak tylko od ilości pracy, przeobrażonej na ciepło.

§ 100. Zamiana ciepła na pracę.

Rozgrzejmy jakiebądź ciało tarciem lub szeregiem uderzeń. Wydaliśmy na to pewną pracę; lecz praca ta nie jest stracona. Ciało gorące nawzajem może teraz wykonać pracę, do której zimne nie byłoby zdolne. ~~Rozgrzejmy np. płytkę A tarciem lub szeregiem uderzeń i postawmy na niej~~ Wyobraźmy sobie np., że płytka A została rozgrzana tarciem lub szeregiem uderzeń i że postawiono na niej walec metalowy, w którym porusza się gładko szczelny tłok T (rys. 100.); w walcu znajduje się, przypuśćmy, powietrze. Podniesiona temperatura płyty udzieli się przez dno walca powietrzu; powietrze ~~po~~zacznie się rozszerzać, będzie podnosiło tłok ~~wbrew~~ przeciwko zewnętrznemu ciśnieniu atmosfery, będzie więc wykonywało pracę. Albo też, gdyby nieco wody znajdowało się w walcu, wówczas pod działaniem przenikającego ciepła woda parowałaby, ciśnienie pod tłokiem wzrastałoby i moglibyśmy znowu uzyskać pewną ilość pracy. Widzimy więc, że praca, wydana na rozgrzanie jakiegobądź ciała, nie jest stracona; *ciało go-*



Rys. 100.

§ 100. Zamiana ciepła na pracę.



rące ma energią i nawzajem wykonywa pewną pracę, byleby mogło odstąpić swego ciepła ciału zimniejszemu od siebie, np. powietrzu, które się przez to rozszerzy, lub wodzie, która będzie przez to parowała. Jak sprężyna musi się rozkręcać, żeby wydać swoją energią, jak kamień podniesiony musi się obniżyć, żeby wydać swoją energią, jak pocisk biegnący musi się zatrzymać, żeby wydać swoją energią, podobnież ciało gorące musi oddać swe ciepło, żeby wydać swoją energią i temsamem wykonać pracę.

§ 101. Z pewnej ilości ciepła otrzymuje się zawsze pewną ilość pracy.

Wystawmy sobie, że w walcu, rys. 100., znajduje się pod tłokiem powietrze i że ogrzewamy je o 100°. Możemy przytem bądź pozwolić rozszerzać się powietrzu; bądź też możemy nie pozwolić mu się rozszerzać, utwierdziwszy np. tłok w miejscu. W pierwszym razie powietrze, ogrzewając się, będzie wykonywało pracę; w drugim razie powietrze będzie się tylko ogrzewało i nie będzie wykonywało pracy. *To też w pierwszym razie powietrze będzie pochłaniało więcej ciepła niż w drugim; różnica jest ilością ciepła, jaka w pierwszym razie zamienia się na pracę.* Przypuśćmy np., że w walcu pod tłokiem znajduje się 1 m^3 powietrza o temperaturze 0° i że powierzchnia tłoka ma 1 m^2 rozległości. W takim razie tłok znajduje się w odległości 1 *m* od dna walca w 0° i posuwa się do odległości 1·37 *m* w 100°, jeśli pozwalamy powietrzu rozszerzać się swobodnie pomiędzy 0° a 100° (§ 78.). Lecz z § 48. wiadomo, że ciśnienie atmosferyczne, które tłok, posuwając się, musi przezwyciężać, cięży na nim tak, jak gdyby 10260 *kg* na nim leżało. A więc, rozszerzając się od 0° do 100°, powietrze jak gdyby podnosi 10260 *kg* o wysokość 0·37 *m*, wykonywa więc pracę 3796·2 kilogrammetrów. Ta praca bierze się, jak powiedziano, z nadmiaru ciepła, jakie powietrze pochłania, gdy ogrzewa się, rozszerzając się swobodnie. Owóż wiadomo, że metr sześcienny powietrza pochłania 8·93 kaloryi więcej, gdy rozszerza się, niż gdy nie rozszerza się, ogrzewając się o 100°. A zatem z 8·93 kaloryi powstaje tu 3796·2 kilogrammetrów; innemi słowy, z 1 kaloryi ciepła powstaje 425 kilogrammetrów pracy, taksamo, jak z 425 kilogrammetrów pracy powstawała 1 kalorya ciepła (§ 99.).

Gdybyśmy kazali powietrzu rozszerzać i wykonywać pracę a nie doprowadzali mu z zewnątrz ciepła, powietrze wydałoby na wykonanie tej pracy część swego własnego ciepła t. j. oziębiłoby się. Dlatego ciało gazowe, które zmuszamy do rozszerzania się, oziębia się. Ażeby to okazać, nasyćmy powietrze pod kloszem pompy pneumatycznej parą wodną (zawiesiwszy pod nim na czas pewien np. arkusz wilgotnej bibuły); następnie pociągnijmy powietrze pompą. Oziębienie powietrza zdradzi się natychmiast obłoczkiem, który dowodzi, że część pary wodnej uległa skropleniu.

~~§ . O maszynach parowych.~~

~~Istnieją maszyny parowe~~ (bywają) ~~najrozmaitszej budowy, wszelako istotne~~ (ich) ~~części każdej maszyny~~ stanowią: ~~kocioł K z ogniskiem O, cylinder czyli walec W, zaopatrzony w tłok TT, kondensator czyli ochładzacz C wraz z pompą wodną P. Przyrządy te widzimy na rys. [illegible], który nie wyobraża~~

(str. 111)

5. O maszynach parowych.

Maszyny parowe bywają rozmaitej budowy; zawsze jednak składają się z następujących części istotnych: kocioł wraz z ogniskiem (K, O na rys.); walec parowy czyli cylinder (W), w którym porusza się tłok (T); chłodnica czyli kondensator (C) oraz pompa (P). Rysunek , na którym widzimy wszystkie te części składowe ~~maszyny~~, wyobraża, z pewnemi uproszczeniami, zasadnicze urządzenie maszyny parowej. W kotle K znajduje się woda. Pod działaniem ciepła ogniska woda ta wytwarza parę ~~wodną~~, która rurą i udaje się do walca W. Do tego walca ma ona, jak widzimy z rysunku, dostęp dwojaki: bądź przez wentyl (czyli rodzaj kurka) a, przyczem dostaje się nad tłok T, bądź też przez wentyl b, przyczem dostaje się pod tłok T. W pierwszym razie para pcha tłok ku dołowi, w drugim wypycha go ku górze. Urządzenie tych wentyli jest takie, że, gdy jeden jest otwarty, drugi jest zamknięty. Dla wypływu pary z walca istnieją podobnie dwie drogi, jedna przez wentyl c z nad tłoka, druga przez wentyl d z pod tłoka. Te znowu są tak zbudowane, że, ~~gdy a jest otwarty, d także jest otwarty, gdy b jest zamknięty, c także jest zamknięty~~ d otwiera i zamyka się wraz z a, c zaś otwiera i zamyka się wraz z b. Otwieranie i zamykanie się wentyli a i d, oraz b i c, (drogą nie pokazaną na rysunku) łączy się z ruchem tłoka T i rękojeści Z, która idzie za tłokiem. Para więc, napływająca z kotła, bądź zastaje a i d otwarte, b i c zamknięte, wypycha więc tłok T ku dołowi, (takie właśnie położenie rzeczy widzimy na rysunku); bądź też zastaje a i d zamknięte, b i c otwarte, a wówczas wypycha tłok T ku górze. W obu razach dawna para, zużyta (w pierwszym razie z pod tłoka, w drugim razie z nad tłoka) zostaje wydalana, rurą h do chłodnicy C, gdzie, oziębiana przez przepływającą (z H do G) zimną wodę, skrapla się czyli „kondensuje" się i w postaci wody ciekłej, działaniem pompy pomocniczej P i przez rurę u, bywa przepompowywana do kotła K. Ruch tłoka T, za pośrednictwem rękojeści Z, przenosi się na oś, na której osadzone jest koło rozpędowe E.

Wyobraźmy sobie, że ognisko, np. w ciągu godziny, udzieliło wodzie w kotle pewnej ilości ciepła, np. pewnej oznaczonej liczby kalorji. Ta ilość ciepła zamieniła więc pewną oznaczoną masę wody ciekłej w parę. Para ta w walcu wykonywała pracę, w chłodnicy skraplała się

następnie na wodę ciekłą (przyczem oddawała ciepło), nareszcie jako woda, powracała do kotła. Tym sposobem woda ulegała szeregowi przemian takich, iż ostatecznie powracała ona do stanu swego początkowego, jaki miała w kotle. ~~Ilość ciepła~~ W tym szeregu przemian woda najprzód pobierała pewne ilości ciepła, następnie wykonywała pewne ilości pracy, nareszcie oddawała pewne ilości ciepła. Ilość ciepła, pobieranego (w kotle), musi być większa, niż ilość ciepła, oddawanego (w chłodnicy); a mianowicie o tyle, aby na każdy kilogrammetr pracy, wykonanej przez parę, przypadała $\frac{1}{425}$ części kalorji <u>przewyżki</u> ciepła pobranego po nad oddane. Tego możemy być pewni na mocy zasad, wyjaśnionych w dwóch poprzedzających artykułach.

Stąd dalej wynika, że z całkowitej ilości ciepła, pobieranego przez wodę w kotle, jedna część zamienia się na pracę, druga zaś przenosi się poprostu (z ~~kotła~~ [2] ogniska [3] do chłodnicy), przez pośrednictwo wody. Jednakowoż nie można bynajmniej uważać tego przenoszenia się ciepła z ogniska do chłodnicy ~~jedynie~~ za ~~pewną stratę~~ prostą stratę materjału opałowego. Działanie chłodnicy jest bardzo istotne. Gdybyśmy nie rozporządzali źródłem zimna, jakiem jest chłodnica, gdybyśmy nie mogli skraplać pary ~~[illegible]~~ „zużytej", nie moglibyśmy dopuszczać do walca coraz nowej pary, świeżej, jeszcze nie spracowanej. Moglibyśmy wówczas podnieść tłok raz jeden do góry, lecz nie bylibyśmy w stanie wprawić go w ruch ciągły, i okresowy. — Aby ten skutek osiągnąć, nie dosyć jest ~~[illegible]~~ pozwalać pewnej ilości ciepła zamienić się na pracę, trzeba jednocześnie innej ilości ciepła pozwolić przejść z ciała cieplejszego do ciała zimniejszego, jak tutaj: z ogniska do chłodnicy. —

(str. 113)

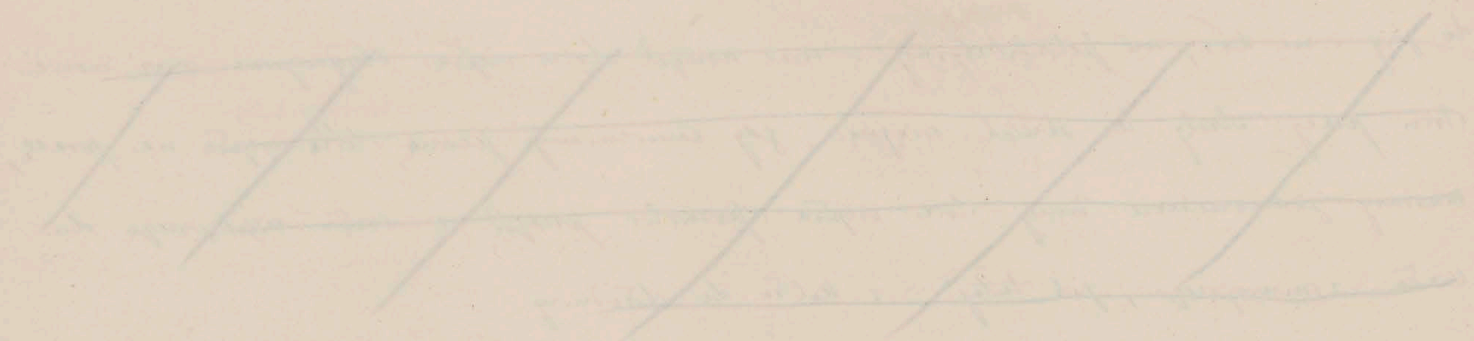
~~do góry i na dół, nie potrzebowalibyśmy z coraz nowych ilości ciepła otrzymywać coraz nowe ilości pracy. Ażeby ten skutek osiągnąć, gdy zamieniamy pewną ilość ciepła na pracę, musimy jednocześnie inną ilość ciepła pozwolić przejść z ciała cieplejszego do ciała zimniejszego, jak tutaj: z kotła do chłodnicy.~~

§ ~~102~~. Ciepło jest pewnego rodzaju energią.

Czemże jest ciepło? Co przechodzi z płomienia lampy na lód, zamienia lód na wodę, obraca wodę w parę?

Ciepło nie jest żadnem ciałem, bo nie posiada masy. Wiemy, że ciało gorące nie ma większej masy, niż kiedy jest zimne (§ 75.). Z jednego kilograma lodu powstaje 1 *kg* wody a nie więcej; podobnież z jednego kilograma wody ciekłej powstaje 1 *kg* pary wodnej a nie więcej.

Ciepło jest pewnego rodzaju energią, albowiem trzeba wydać pracę, ażeby powiększyć ilość ciepła, zawartą w pewnem ciele; albowiem nawzajem takie ciało może wówczas wykonać pracę, do której przedtem nie było zdolne.



Tablica

Punkty topliwości

Azot	− 214°	Cyna	+ 227°
Alkohol (zwykły, czyli wyskok)	− 131°	Ołów	+ 325°
Rtęć	− 39°	Cynk	+ 412°
Woda	0°	Srebro	około + 950°
Masło	+ 31°	Szkło	około + 1000°
Stearyna	+ 45°	Miedź	około + 1100°
Wosk	+ 63°	Stal	około + 1300°
Siarka	+ 115°	Żelazo	około + 1600°

Tablica

Punkty wrzenia

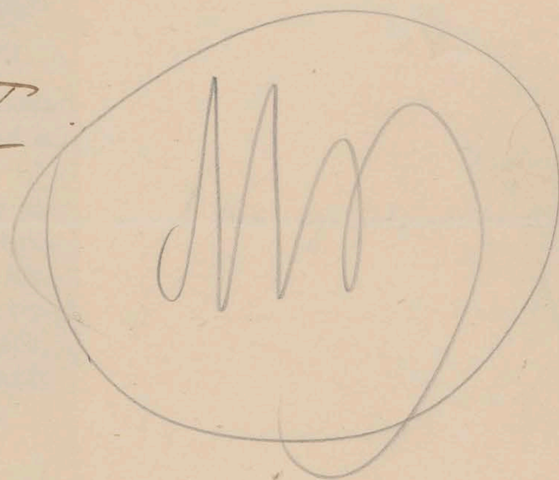
Wodór	− 244°	~~Terpentyna~~ Gliceryna	+ 290°
Powietrze	− 190°	Oliwa	+ 315°
Eter (t. zw. siarczany)	+ 35°	Rtęć	+ 357°
Alkohol (wyskok)	+ 78°	Siarka	+ 448°
Woda	+ 100°	Cynk	+ 950°
Terpentyna	+ 160°	Ołów	około + 1500°

Niew. prawdz.

130

135

Rozdział V



Telefon ?

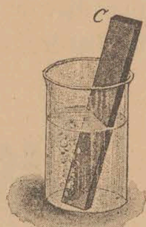
Promienie Röntgena ?

ROZDZIAŁ PIĄTY.

O elektryczności.

§ 103. Kwasy działają chemicznie na metale.

Nalejmy wody do szklanki i dodajmy ostrożnie nieco kwasu siarkowego (t. zw. witryolu); następnie do zakwaszonej w ten sposób wody włóżmy (rys. 101., str. 93.) kawałek blachy cynkowej. Zauważymy, że między wodą zakwaszoną a cynkiem zaczyna się zaraz pewne działanie. Woda syczy, kotłuje się i niebawem ogrzewa się wyraźnie. Spostrzegamy dalej, że maleńkie pęcherzyki gazowe wydobywają się na powierzchnię wody; że blachy cynkowej zaczyna ubywać, że woda zakwaszona ją niszczy, przegryza, podobnie jak czysta woda czyni to z cukrem. Mawia się też nieraz, że cynk rozpuszcza się w wodzie zakwaszonej; lecz, co tutaj się dzieje, jest tylko z pozoru podobne do rozpuszczania się cukru, albowiem metalicznego cynku nie można otrzymać napowrót przez odparowanie wody, jak to można z cukrem uczynić. Cynk nie rozpuszcza się właściwie w wodzie zakwaszonej, lecz rozkłada kwas w niej zawarty, tworzy pewną sól (siarkan cynku) i wydziela wodór gazowy, jak wiadomo z Chemii.



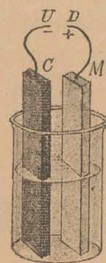
Rys. 101.

Mamy tu zatem | 1. *działanie chemiczne*; 2. *wydzielanie się ciepła*. Te dwa zjawiska są w ścisłym związku ze sobą; im więcej cynku zamienia się na siarkan cynku, tem więcej ciepła się wydziela. Każdy gram cynku, zamienionego na siarkan cynku, wytwarza pewną *ilość ciepła*, którą można zmierzyć w kaloryach, podobnie jak każdy gram węgla, spalonego w piecu, lub każdy gram nafty, wypalonej w lampie, wytwarza pewną ilość ciepła.

| dwa zjawiska:

§ 104. Ogniwo elektryczne.

Weźmy teraz dwie blaszki: cynkową *C* i miedzianą *M*, do których przylutowano po kawałku drutu; wstawmy je do wody zakwaszonej, jak okazuje rys. 102. Nazywamy przyrząd podobny *ogniwem elektrycznem;* koniec *D* drutu, idącego od miedzi, nazywamy *biegunem dodatnim* (+) *ogniwa;* koniec *U* drutu, idącego od cynku, nazywamy *biegunem ujemnym* (—). Połączmy ze sobą końce *D* i *U*, czyli, jak się mówi, *zamknijmy obwód ogniwa;* zważajmy jednak, ażeby same blaszki *M*, *C* nigdzie nie dotykały się siebie. Działanie chemiczne pomiędzy cynkiem a wodą zakwaszoną odbywa się wówczas, cynk zużywa się, jak poprzednio, ale pęcherzyki wodoru nie ukazują się na blaszce cynkowej; nieco pęcherzyków ukaże się teraz *na blaszce miedzianej*. Dzieje się ↓ tak, jak gdyby wodór w sposób niewidzialny przenosił się przez ciecz z cynku na miedź.

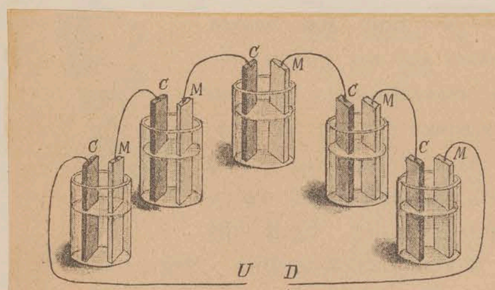


Rys. 102.

↓ tutaj

121.

5. Baterya elektryczna



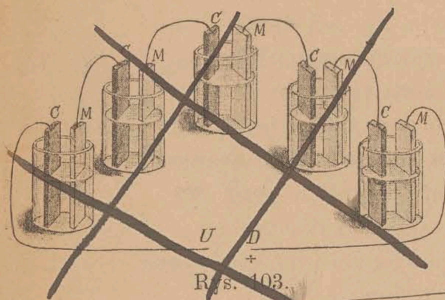
Rys. 103.

~~wa się wyraźnie~~. Zbudujmy kilka lub kilkanaście ogniw elektrycznych i połączmy je ze sobą tak (rys. 103.), ażeby biegun dodatni ~~jednego~~ pierwszego ogniwa łączył się z ujemnym drugiego, dodatni drugiego z ujemnym trzeciego, dodatni trzeciego z ujemnym czwartego itd. ~~sąsiedniego~~; taki zbiór ogniw nazywamy elektryczną *bateryą*. Na krańcach bateryi pozostają dwa bieguny swobodne *D*, *U;* zachowują się one, jak ~~gdyby~~ bieguny jednego ogniwa ~~ogniwa~~, tylko mocniejszego niż pojedyncze ogniwo. Powiadamy, że baterya elektryczna jest jakgdyby jednem ~~tylko~~ ogniwem o wielkiej mocy, czyli o wysokiem napięciu. Im więcej ogniw połączymy ze sobą w opisany sposób, tem ~~większe~~ (wyższe) będzie napięcie bateryi.

§ 105. Ciepło w obwodzie.

Skoro tylko obwód jest zamknięty, możemy zauważyć ~~jeszcze inne~~ dziwne zjawisko. Oto *drut MDUC ogrzewa się.* Ogrzewa się on bardzo słabo, jeśli jest gruby; lecz drut cieniutki, zwłaszcza żelazny lub platynowy, ogrzewa się wyraźnie. ~~Zbudujmy kilka lub kilkanaście ogniw i połączmy je ze sobą tak (rys. 103.), ażeby biegun dodatni jednego ogniwa łączył się z ujemnym sąsiedniego; taki zbiór ogniw nazywamy elektryczną bateryą. Na krańcach bateryi pozostają dwa bieguny swobodne D, U, zachowują się one, jak gdyby bieguny ogniwa, tylko mocniejszego niż pojedyncze ogniwo.~~ Połączmy bieguny *D*, *U* zapomocą cienkiego żelaznego lub platynowego drucika; drucik ogrzewa się mocno, ~~może nawet~~ gdy ogniw jest wiele, rozpalić się do czerwoności, do białości, a nawet uledz stopieniu. Powiadamy: *w obwodzie ogniwa elektrycznego* (lub bateryi) *pojawia się ciepło.*

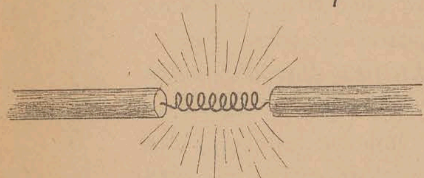
Porównajmy do pojedynczego ogniwa (§ 104). dalsze Powtórzmy toż samo spostrzeżenie na obwodzie silnej elektrycznej bateryi. Po bateryi może



Rys. 103.

Zkąd się to ciepło bierze? Nie może ono tworzyć się samo przez się, nie może powstawać z niczego. Ciepło jest pewnym rodzajem energii a energia, jak wiemy, nigdy nie ~~tworzy się~~ z niczego. Ciepło w obwodzie pojawia się kosztem tego ciepła, które wydziela się skutkiem odbywającego się ~~w ogniwie~~ chemicznego działania. Gram cynku, zamieniając się na siarkan cynku, wytwarza zawsze pewną ilość ciepła; poprzednio (§ 103.) całe to ciepło pojawiało się oczywiście w miejscu chemicznego działania, teraz zaś *część tego ciepła pojawia się w obwodzie a tylko reszta pojawia się w ogniwie.* Innemi słowy: w samem ogniwie zmniejsza się ilość pojawiającego się ciepła, ale ~~społecznie nowe~~ ciepło pojawia się w obwodzie ogniwa.

powstaje w ogniwie tam samem za to inne

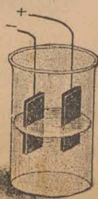

Rys. 104.

Możemy sprawić, ażeby ciepło w obwodzie pojawiało się tak daleko od ogniwa, jak nam się podoba. Weźmy dwa grube pręty miedziane, długie np. na dwa metry; użyjmy ich za druty *MD* i *CU*, wprowadźmy mianowicie pomiędzy *D* i *U* cieniutki drucik żelazny lub platynowy (rys. 104.). W prętach nie znajdujemy żadnego rozgrzania; drucik, przeciwnie, rozgrzewa się do czerwoności. Zatem dzieje się tak, jak gdyby część ciepła, pochodzącego z chemicznego działania w ogniwach, ~~było się tu przeniesiona~~ w sposób niedostrzegalny do drucika, o dwa metry od ogniw, i tam dopiero pojawiła się znowu jako ciepło.

tutaj przenosiła się ia:

§ 106. Działanie chemiczne w obwodzie.

Połączmy bieguny *D* i *U* bateryi (rys. 103.) z dwiema blaszkami, zrobionemi *z platyny,* metalu, na który zwykłe kwasy nie działają. Weźmy nieco *siarkanu cynku* t. j. tejsamej soli, jaka tworzy się w ogniwie (§ 103.) i zanurzmy platynowe bieguny bateryi, jak okazuje rys. 105., do roztworu soli tej w wodzie. Zobaczymy niebawem, że metaliczny cynk osadza się na platynowej blaszce, która jest połączona z ostatnim cynkiem, a więc na ujemnym biegunie bateryi. Przekonamy się dalej, że woda w szklance staje się coraz bardziej kwaśna, że two-



Rys. 105.

rzy się w niej kwas siarkowy. Więc odbywa się tutaj rozkład siarkanu cynku, podczas gdy w ogniwie, przeciwnie, siarkan cynku się tworzył. W szklance (rys. 105.) przybywa cynku i przybywa kwasu, podczas gdy w ogniwie i cynku i kwasu ubywało. A zatem w ogniwie odbywa się pewne chemiczne działanie, ale spółcześnie w obwodzie ogniwa, w roztworze siarkanu cynku, odbywa się wprost przeciwne chemiczne działanie.

/, w tem doświadczeniu,
/ (rys. ..)

§ 107. Prąd elektryczny. Przewodniki.

Wszystkie te skutki przypisujemy *elektrycznemu prądowi*, który tworzy się w ogniwie i przechodzi przez obwód. Powiadamy, że przez pręty (rys. 104.) płynie prąd elektryczny; że dzięki prądowi część ciepła, pochodzącego z chemicznego działania w ogniwach, przeniosła się do drucika o dwa metry od ogniw i dopiero w druciku pojawiła się znów jako ciepło. Powiadamy, że dzięki prądowi działanie chemiczne w ogniwach wytwarza wprost przeciwne działanie chemiczne w roztworze siarkanu cynku w odległości dwóch metrów od ogniw. O prętach powiadamy, że prąd przez nie *przechodzi;* inaczej mówimy, że one prąd *przewodzą* lub że są *przewodnikami prądu.* Przepiłujmy jeden z tych prętów i rozsuńmy końce *A, B* (rys. 106.) dwóch części, na które rozdzieliliśmy pręt tym sposobem; drucik przestaje natychmiast świecić, rozkład siarkanu cynku w szklance przerywa się natychmiast. A zatem *powietrze nie przewodzi prądu.* Włóżmy końce *A, B* do miseczki z rtęcią (rys. 107.); drucik zaczyna świecić napowrót, rozkład siarkanu cynku znów się rozpoczyna. A zatem *rtęć przewodzi prąd.* ~~Jeśli rtęć przewodzi, jeśli ciecze w ogóle mogą przewodzić, to zapewne i~~ roztwór siarkanu cynku w szklance (rys. 105.) przewodził prąd; ~~i co więcej,~~ woda zakwaszona w samem ogniwie także przewodziła. A zatem powiadamy: prąd przechodzi nie tylko przez druty i pręty, nie tylko przez roztwór siarkanu cynku, znajdujący się w obwodzie, lecz również przez *samo ogniwo; prąd* ~~przechodzi~~ *jak gdyby dokoła przez ogniwo i przez cały obwód.*

// elektrycznemu
7 wsposób niedostrzegalny
Γ tam
⊥ chociaż np.

Zupełnie podobnie możemy przekonać się, że ~~wod~~ roztwór siarkanu cynku lub ~~w szklance przewodzi i że~~ woda zakwaszona ~~również~~ przewodzą prąd elektryczny. A zatem widzimy teraz, że

⊥ że
prąd.
krąży

A B

Rys. 106.

A B

Rys. 107.

Końcami *A, B* (rys. 106.) dotknijmy kawałka szkła, porcelany, kauczuku, jedwabiu, wełny: prąd nie przechodzi. Włóżmy końce *A, B* do naczynia z naftą, oliwą, terpentyną: prąd nie przechodzi. Wszystkie te ciała są więc *złymi przewodnikami prądu* czyli *izolatorami*; stawiają one nadzwyczaj znaczny *opór* przejściu prądu. Węgiel i wszystkie metale są przeciwnie *dobrymi przewodnikami* prądu elektrycznego. Alkohol, eter siarczany, papier, drzewo są przewodnikami, ale bardzo słabymi; stoją więc pośrodku pomiędzy dobrymi a złymi przewodnikami. Ciało człowieka jest dość dobrym przewodnikiem.

‖ kalafonii, bursztynu, laku, ~~suchego papieru~~,

/ (np. miedź, cynk, srebro, platyna, ołów, i t. d. i t. d.)

§ 108. Elektroliza.

Prąd elektryczny, przechodząc przez rtęć, nie rozkłada jej; rtęć jest, jak wiadomo, *pierwiastkiem chemicznym* czyli nie rozkładającem się ciałem. Poprowadźmy teraz prąd przez jakiebądź ciało złożone; do szklanki np. (rys. 105.) nalejmy roztworu ~~wodnego~~ siarkanu miedzi (t. zw. koperwasu miedzianego) i połączmy blaszki z biegunami bateryi. Na blaszce, połączonej z biegunem ujemnym, osadza się *miedź,* w roztworze zaś przybywa kwasu siarkowego. A zatem prąd, który powstał przez tworzenie się siarkanu cynku, może rozkładać nie tylko siarkan cynku, lecz również i inne ciała złożone, ~~wszelki prąd, przechodząc przez ciało złożone, rozkłada je. Rozkład, wywoływany przez prąd elektryczny, nazywa się elektrolizą. Gdy elektrolizujemy roztwór związku~~

/ wodnego

‖ je
‖ ten sam znowu
~~⊥ jeśli~~

Wogóle powiadamy: prąd elektryczny, jeśli przechodzi przez ciało złożone, rozkłada je.

Istotnie, (weźmy przykłady: prąd nie przechodzi przez naftę, oliwę, terpentynę ale też i nie rozkłada tych ciał, chociaż są to ciała złożone; zupełnie podobnie nie przechodzi przez szkło, kauczuk i inne izolatory stałe i nie rozkłada ich. Prąd nie przechodzi również przez roztwór np. cukru w wodzie i nie rozkłada go. Natomiast przechodzi przez roztwór (jakiegobądź kwasu (np. siarkowego, solnego i t. d.) lub jakiejbądź soli w wodzie: np. soli kuchennej (chlorku sodu), koperwasu miedzianego (siarkanu miedzi), lapisu (azotanu srebra), jodku potasu i t. d. i t. d; i zawsze też rozkłada te i tym podobne roztwory. Dalej prąd przechodzi przez sole stopione i rozkłada je (też). Prąd wprawdzie przechodzi przez metale (czy to stałe, czy stopione, jak np. rtęć) i nie rozkłada ich, lecz metale nie są złożonemi ciałami, są pierwiastkami. Nareszcie prąd nie przechodzi przez zwykłe powietrze i nie rozkłada go, ale są poszlaki, że, gdy prąd przechodzi przez bardzo rozrzedzone powietrze, ~~prąd ...... przechodzi i~~ zmienia je również w sposób podobny, jak przy rozkładzie chemicznym.

Rozkład, sprawiany przez prąd elektryczny, nazywa się elektrolizą; ciała, które prąd rozkłada, nazywają się elektrolitami. Gdy elektrolizujemy kwas siarkowy lub solny, wodór wydziela się na biegunie ujemnym, pozostałe zaś części składowe kwasu (chlor, związki tlenu z siarką) wydzielają się na biegunie dodatnim. Gdy elektrolizujemy jakąkolwiek sól, na biegunie ujemnym wydziela się metal, zawarty w soli, na biegunie dodatnim (wydzielają się pozostałe części składowe soli. Gdy np. elektrolizujemy lapis, na biegunie ujemnym osadza się srebro; rozumiemy przeto, jak można srebrzyć, złocić, niklować, i t. d. zapomocą prądu elektrycznego. Gdy elektrolizujemy jodek potasu, potas gromadzi się na ujemnym biegunie (gdzie natychmiast wchodzi w reakcyą z wodą), na dodatnim zaś wydziela się swobodny jód. Jeśli dodamy nieco (zaprawy krochmalnej) do roztworu, najmniejsze ilości tworzącego się jodu zdradzać się będą (zabarwieniem niebieskiem), tak iż zapomocą elektrolizy jodku potasu można wykrywać (obecność) nawet bardzo słabych prądów. ~~Gdy elektrolizujemy stopiony~~

Jak powiedzieliśmy, sole ~~i~~ i inne związki ~~[illegible]~~ można elektrolizować, kiedy są stopione, podobnie, jak ~~[illegible]~~ gdyby były rozpuszczone w wodzie. W przemyśle zaczyna rozpowszechniać się obecnie sposób otrzymywania niektórych metali ~~z ich~~ związków, np. glinu (aluminium), ~~i~~ polegający na takiej ~~[illegible]~~ zasadzie. –

§ . Elektroliza wody.

Czysta woda stawia znaczny opór przejściu prądu, jest [redacted] złym przewodnikiem; nalawszy czystej wody do szklanki (rys. 105.) i przepuszczając prąd, nie dostrzegamy elektrolizy wody. Lecz dodajmy kilka kropel kwasu (siarkowego lub solnego) a natychmiast dwa strumienie pęcherzyków gazowych biegną ku powierzchni, jakby wyrywając się z blaszek platynowych. Ażeby zebrać te pęcherzyki, nakryjmy blaszki zamkniętemi rurkami szklanemi, wypełnionemi również wodą zakwaszoną i przewróconemi nad cieczą, jak pokazuje rys. 108.; przyrząd, tu przedstawiony, nazywa się *woltametrem*. Na biegunie dodatnim wydziela się *tlen* (*O*) I, na ujemnym — *wodór* (*H*) II; wodoru jest na objętość dwa razy więcej niż tlenu. (Do tego doświadczenia potrzeba mocnego prądu; najlepiej użyć kilku ogniw, opisanych niżej w § 109.).

Rys. 108.

I, z łac. Oxygenium

II, z łac. Hydrogenium

Rozumiemy teraz, dlaczego w ogniwie wydziela się wodór, skoro tylko obwód jest zamknięty (§ 104.). Albowiem prąd przechodzi wówczas przez wodę zakwaszoną ogniwa i wodę tę elektrolizuje. Dlaczego zaś na miedzi wydziela się wodór? Wystawmy sobie (rys. 109.) ogniwo *MC* (dla uproszczenia narysowano tylko jedno) oraz woltametr *OH*, w którym elektrolizuje się woda; wszystko to jak gdyby przecięte poziomą płaszczyzną. Wiemy, że prąd przechodzi jak gdyby dokoła przez ogniwo i przez cały obwód. Idźmy np. od miedzi *M* do bieguna *O* w woltametrze *OH* i taksamo dalej, jak wskazują strzałki; widzimy, że wodór w woltametrze zbiera się tam, gdzie ***wychodzimy*** z cieczy t. j. w miejscu *H*. W ogniwie idziemy od *C* do *M*, wodór przeto w ogniwie zbiera się znowu tam, gdzie wychodzimy z cieczy t. j. na miedzi *M*.

Rys. 109.

~~Jak wiadomo z chemii, wodór [illegible] łączy się chętnie z tlenem, ([illegible]) i tworzy wodę. Widzimy więc, że prąd elektryczny [illegible] w woltametrze [illegible] rozkład wody~~

5. Energia prądu.

Wiadomo z Chemii, że wodór łączy się chętnie z tlenem, że np. pali się w tlenie; i że przez to powstaje woda. A zatem elektroliza wody i palenie się wodoru w tlenie są to zjawiska, wręcz przeciwne sobie. W pierwszem woda rozkłada się na wodór i tlen, w drugiem przeciwnie wodór i tlen łączą się, dając wodę. W obu razach ani zyskujemy, ani tracimy na masie. Z dziewięciu gramów wody otrzymujemy zawsze jeden gram (wodoru) i ośm gramów tlenu, ani mniej, ani więcej; z grama wodoru i z ośmiu gramów tlenu otrzymujemy dziewięć gramów wody. (Objętość otrzymanego wodoru i tlenu będzie rozmaita, zależnie od temperatury, zależnie od ciśnienia; ale masy będą stałe: ośm gramów i jeden gram.) Więc masa wody jest w obu razach równa masie łącznej obu składników.

Zwróćmy teraz uwagę na energię wody i na energię składników. Wiemy, że wodór, łącząc się z tlenem, wydziela znaczną ilość ciepła: płomień wodoru w tlenie jest źródłem znacznego gorąca. Każdy gram wodoru, łącząc się z ośmiu gramami tlenu, wydziela 34,6 kal. Wyobraźmy sobie zatem 1 gram wodoru zmieszany z 8 gramami tlenu, ale nie połączony z niemi; następnie przypuśćmy, że utworzyło się z nich 9 gm wody. Przez połączenie się wydzieli się 34,6 kal., które musimy odebrać, jeżeli chcemy mieć wodę w tej samej temperaturze, w jakiej mieliśmy wodór i tlen. A zatem dziewięć gramów wody zawiera, w tej samej temperaturze, mniej energii, niż mieszanina 1 grama wodoru i 8 gramów tlenu, mianowicie o 34,6 kal. mniej; inaczej mówiąc, wodór i tlen zawierają więcej energii, niż woda, mianowicie o 34,6 kal. więcej na każdych 9 gm. wody. Żeby więc rozłożyć wodę, trzeba dostarczyć pracy, trzeba wyłożyć energię, mianowicie trzeba wydać conajmniej 34,6 kal. na rozkład każdych 9 gm. wody.

Od wiersza

Tę pracę wykonywa w woltametrze prąd elektryczny; tę energię prąd przynosi ze sobą, wpływając do woltametru.

Prąd elektryczny nie jest bynajmniej płynięciem jakiegoś płynu w obwodzie ogniwa; albowiem każdy płyn ma masę a prąd elektryczny nie ma masy. Ciepło nie ma masy i prąd elektryczny nie ma masy. Ciepło jest pewnym rodzajem energii i prąd elektryczny jest przepływem pewnego osobnego rodzaju energii. Lecz zkąd bierze się energia prądu? Energia prądu,

Jak wiemy (§), jest tylko nową formą energii ciał, działających na siebie wzajemnie w ogniwie. Kwas siarkowy i cynk mają energię chemiczną, podobnie, jak wodór i tlen mają energię chemiczną. W ogniwie energia chemiczna kwasu siarkowego i cynku zamienia się na energię elektryczną (reszta jej pojawia się tam jako ciepło); energia ta elektryczna zamienia się w woltametrze znowu na chemiczną energię, której zapas zawiera woltametr nabity.

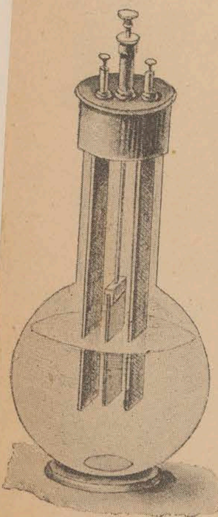
§ . Polaryzacya. Ogniwa trwałe.

Skoro woltametr nabity zawiera zapas energii chemicznej, podobnie jak ogniwo gotowe do działania, więc nie dziwnego, że i z nabitego woltametru można otrzymać podobnie jak z ogniwa prąd elektryczny. Odłączmy końce + i — drutów woltametru (rys. 109.) od biegunów bateryi i połączmy je ze sobą. Przekonamy się ~~wówczas~~, że *w obwodzie woltametru* (przez krótki czas) *mamy teraz prąd.* Woltametr zachowuje się jakby ogniwo; blaszka *H*, na której wydzielał się wodór, jest ujemnym biegunem tego ogniwa, druga zaś blaszka *O* jest jego dodatnim biegunem. ‖ ~~Zupełnie podobnie dzieje się w ogniwie; dlatego też w ogniwie~~

‖ Na takiej zasadzie polega budowa akumulatorów, czyli przyrządów, służących do gromadzenia i przechowywania energii elektrycznej.

Wiemy, że prąd płynie nietylko przez druty i woltametr, lecz również przez samo ogniwo; i że w samem ogniwie sprawia również elektrolizę. Dlatego w ogniwie dzieje się podobnie, jak w woltametrze: !!

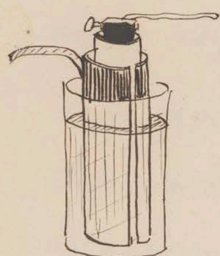
!! prócz prądu głównego, poczyna w niem wytwarzać się niebawem, wskutek wydzielania się wodoru na miedzi, prąd drugi dodatkowy, wprost przeciwny głównemu. Blaszka miedziana w ogniwie jest np. dodatnim biegunem dla prądu głównego, lecz dla dodatkowego jest ujemnym. Z tego powodu prąd główny ogniwa niebawem słabnie i znika prawie zupełnie; mówi się, że ogniwo jest *spolaryzowane.* Ażeby mieć prąd trwały, trzeba niszczyć swobodny wodór, zbierający się na miedzi; dodając do cieczy soli, zwanej dwuchromianem potasu, sprawiamy, iż wodór ten utlenia się i zamienia się tym sposobem na wodę. Najlepiej jest dodać 100 *gr* dwuchromianu potasu na litr wody, zawierającej 50 *gr* kwasu siarkowego; taka ciecz będzie przeszkadzała polaryzacyi ogniwa. Lecz ponieważ nagryza ona miedź, przeto, zamiast płytki miedzianej, używa się płytki, zrobionej z platyny lub z węgla (najlepiej z t. zw. koksu gazowego). Na rys. 110. widzimy takie ogniwo; pomiędzy dwiema płytkami węglowemi znajduje się płytka cynkowa, którą należy wyciągać z cieczy, gdy ogniwo nie jest czynne. Istnieją jeszcze rozmaite inne rodzaje ogniw; dają one prąd trwały, dopóki ciała, zapobiegające polaryzacyi, nie są zużyte. ~~Zapomocą bateryi, złożonej z takich ogniw, łatwiej jest wykonać wyżej opisane doświadczenia, niż zapomocą pierwotnych naszych ogniw, rys. 102. i 103.~~



Rys. 110.

Ogniwo Bunsena np. zawiera wodę zakwaszoną, cynk i węgiel (koks

gazowy); dla zapobiegania polaryzacyi, węgiel jest otoczony mocnym kwasem azotowym, który znowu, ażeby nie mięszał się (lub mieszał się tylko powoli) z wodą zakwaszoną, znajduje się w naczyniu porowatem z gliny niewypalonej (Rys.). Ogniwo Leclanché składa

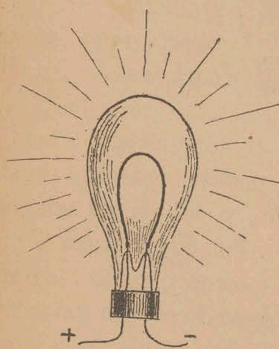


się z roztworu salmiaku, z cynku i węgla, otoczonego dwutlenkiem manganu; ogniwo to, jeśli bywa używane za każdym razem przez czas krótki, może trwać długo gotowem do działania; nadaje się ono z tego powodu też do dzwonków elektrycznych.

Za pomocą bateryi, złożonej z ogniw takich, jak na rys. 110, lub z ogniw Bunsena, Leclanché i t. p., można oczywiście wykonać znacznie łatwiej wszystkie doświadczenia, opisane wyżej, niż zapomocą pierwotnych naszych ogniw, rys. 102 i 103, które bardzo prędko ulegają polaryzacyi.

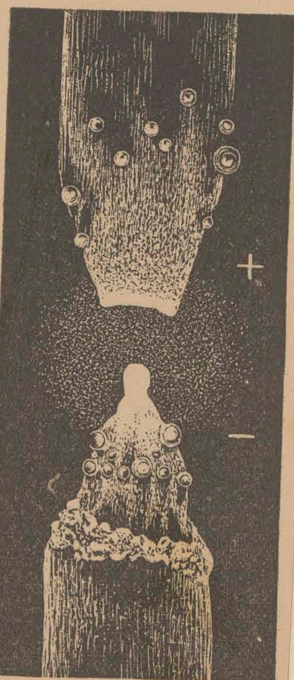
§ 110. Światło elektryczne.

Poprowadźmy prąd z bateryi przez pasemko węglowe, zamknięte w bańce szklanej (rys. 111., str. 99.). Pasemko rozgrzewa się (por. § 105.) i jasno świeci; ponieważ w powietrzu spaliłoby się ono niebawem (t. j. połączyłoby się z tlenem powietrza), przeto zamknięto je w bańce szklanej, z której wyciągnięto powietrze.



Rys. 111.

Takie lampki, nazwane *żarowemi*, służą dziś w wielu miastach do oświetlania; w tych miastach rozsyłają prąd elektryczny po drutach, podobnie jak gaz oświetlający lub wodę do picia rozprowadzają rurami. Lampki elektryczne żarowe grzeją bardzo nieznacznie i nie wydzielają gazów, tworzących się przy paleniu jak płomienie naftowe i gazowe; ze względu na zdrowie zasługują więc na pierwszeństwo.



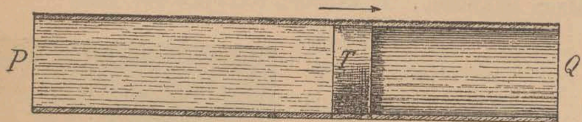
Rys. 112.

Inne urządzenie mają potężne lampy elektryczne, zwane *łukowemi*. Przypuśćmy, że bardzo silny prąd elektryczny płynie przez dwa pręciki węglowe, zaostrzone

jakby ołówki i zetknięte ze sobą ostrzami. Gdy nieco rozsuniemy pręciki, tworzy się pomiędzy niemi nowy prąd, który rozpala do białości ostrza węgielków a zapewne po części je stapia i zamienia na parę. Cząstki węgla odrywają się przytem od dodatniego bieguna, po części spalają się w drodze, a po części biegną na ujemny i osadzają się na nim. Widzimy wówczas olśniewający łuk świetlny pomiędzy węglowemi ostrzami (Rys.). ~~Lampy~~ Budowa lamp elektrycznych łukowych polega na takiej zasadzie. Na niej również polega urządzenie pieców elektrycznych, które wytwarzają najwyższe temperatury, otrzymane dotychczas przez uczonych (od 3000° do 4000° C).

§ 111. Opór drutu.

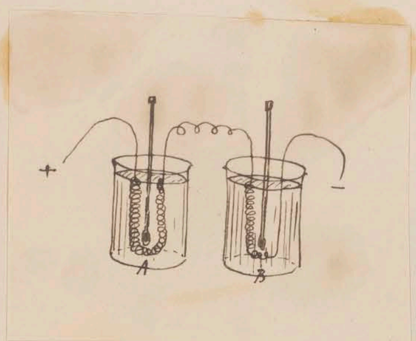
Przypuśćmy, że przez drut metalowy płynie prąd elektryczny. Drut stawia ***pewien opór*** prądowi; wiemy istotnie, że drut ogrzewa się wówczas (§ 105.) a zatem dzieje się tutaj tak, jak gdyby prąd napotykał w drucie na *tarcie*, które przezwycięża, przez co powstawałoby ciepło. Wystawmy sobie, że przez rurę np. *PQ* (rys. 113., str. 100.) płynie woda, pchając przed sobą tłok *T*. Tarcie tłoka i wody o ścianki wytwarzałoby pewien opór dla płynięcia wody; część energii ruchu zamieniałaby się, skutkiem tarcia, na ciepło (zob. § 98). Wiemy wprawdzie (por. §), że prąd elektryczny nie jest bynajmniej płynięciem jakiegokolwiek płynu po drucie; ale, jak ruch wody w rurze *PQ* jest źródłem energii, podobnie prąd elektryczny w drucie jest źródłem energii. Istotnie, wiemy z §   jż, że prąd elektryczny ma energię; dzięki tej energii prąd może nabijać woltametry i akumulatory, żarzyć lampki, topić cienkie platynowe druciki. Kiedy prąd przechodzi przez zwyczajny drut metalowy, energia prądu zawsze wytwarza ciepło; zupełnie podobnie, podczas ruchu wody w rurze *PQ*, część energii płynięcia zamienia się zawsze na ciepło. Posunięcie tłoka *T* np.



Rys. 113.

o jeden centymetr wymaga przezwyciężenia pewnego tarcia, zatem wytwarza pewną ilość ciepła; jakąkolwiek drogę woda odbyła już w rurze poprzednio, przed dojściem do miejsca *T*, posunięcie się jeszcze o jeden centymetr wytworzy zawsze pewną nową ilość ciepła. Podobnież dla prądu: jakkolwiek długo już trwa prąd elektryczny w drucie, przejście nowego prądu przez każdy centymetr tego drutu wytworzy zawsze pewną nową ilość ciepła.

Mówimy, że rozmaite druty stawiają rozmaity opór tem samem prądowi, zależnie od tego, ile ciepła wytwarza się w nich z energii tego prądu. Pomieśćmy np. w obwodzie ogniwa (lub baterji) dwa

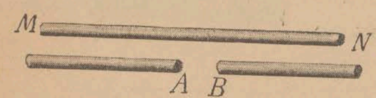


Rys.

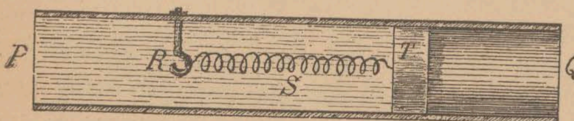
druty, albo dwa (drutu) zwoje), A i B (rys.), jeden za drugim, tak żeby tensam prąd przepływał przez obadwa. Zanurzywszy zwoje np. do alkoholu i mierząc temperaturę alkoholu, możemy sądzić o ilościach ciepła (por. §) które tensam prąd wytwarza w dwóch drutach. Jeśli oba druty są wyrobione z tegosamego metalu, ilości ciepła wytworzone mają się do siebie jak długości drutów, gdy ~~[illegible]~~ przecięcia są równe; lub mają się do siebie ~~[illegible]~~ odwrotnie jak przecięcia, gdy długości są równe. Jeśli długości i przecięcia są jednakowe ale metal w obu drutach nie jest jednakowy, ilości ciepła wywiązywane są wcale niejednakowe: w drucie srebrnym, lub miedzianym wywiązuje się znacznie mniej ciepła, niż w platynowym lub ołowianym. Mówimy więc: srebro i miedź odznaczają się małym oporem dla prądu, czyli mają duże (elektryczne) przewodnictwo; platyna i ołów ~~[illegible]~~ stawiają prądowi opór znaczny ~~[illegible]~~ ~~[illegible]~~ tj. okazują ~~[illegible]~~ małe elektryczne przewodnictwo.

§ 112. Opór powietrza.

I ~~P~~powietrze stawia prądowi elektrycznemu opór, ale zupełnie ~~innego rodzaju.~~ odmienny od oporu metali. Przypuśćmy, że przecięliśmy drut *MN* (rys. 114.) i rozsunęliśmy końce *A*, *B*. Wówczas prąd próbuje przejść, jak dawniej, pomiędzy *A* i *B*; ale natrafia w powietrzu na opór, który się temu sprzeciwia, który *nie pozwala mu przejść*. A zatem dzieje się tutaj tak, jak gdyby prąd napotykał na przeciwdziałanie pewnej siły, podobnej do *sprężystości*, której nie może przezwyciężyć. Wystawmy sobie np., że tłok *T* w rurce *PQ* jest połączony ze sprężyną *S*, której drugi koniec jest umocowany w *R* (rys. 115.). Wówczas płynięcie wody natrafia na całkiem inny opór, niż poprzednio (por. rys.). Woda popchnie teraz ~~nieco~~ tłok *T* nieco na prawo, wyciągnie sprężynę, lecz dalej nie pójdzie, gdyż trafia na przeciwdziałanie siły sprężystości, tem większe, im większe jest przemieszczenie, czyli posunięcie się tłoka *T* na prawo. Na zupełnie podobny opór natrafia prąd elektryczny w powietrzu. Prąd usiłuje przejść pomiędzy *A* i *B* (rys. 114.), posuwa się nieco, ale przejść nie może, bo natrafia na przeciwdziałanie jakiejś siły, tem większe, im bardziej się posunął. Wówczas pomiędzy biegunami *A*, *B* **niema prądu**, ale jest na nich **dążenie** do przejścia. Mówi się wówczas, że na *A* i na *B* jest **elektryczne napięcie**; lub też, że *A* i *B* są **naelektryzowane**. Jeśli końce drutów A i B są naelektryzowane, wówczas i całe druty MA, NB są naelektryzowane. Mówi się także, że druty wówczas są naładowane elektrycznością. Że pomiędzy naelektryzowanemi ciałami istnieje dążenie elektryczności do przejścia, wiemy stąd, że



Rys. 114.



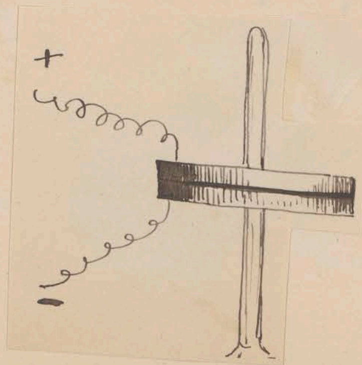
Rys. 115.

dążenie to może przełamać opór powietrza, gdy jest bardzo silne. Gdyby nacisk wody na tłok T (rys. 115.) był bardzo znaczny, gdyby np. od strony P pchano ją bardzo silnie na prawo, wówczas mogłoby się zdarzyć, że woda zerwałaby sprężynę S i popchnęłaby odrazu tłok T o pewną odległość; przytem wytworzyłaby się pewna ilość ciepła. Zupełnie podobnie może się zdarzyć, gdy napięcie elektryczne na A i B np. jest bardzo znaczne, że siła, sprzeciwiająca się przejściu prądu, zostanie złamana i prąd przejdzie. Widzimy wtedy *iskrę elektryczną* w powietrzu. Temsamem napięcie zaraz się zmniejszy, tak iż prąd natychmiast się przerwie. Zjawisko takie nazywa się *elektrycznem rozbrojeniem. Piorun* nie jest niczem innem, jak potężnem elektrycznem rozbrojeniem pomiędzy chmurami lub pomiędzy chmurą a ziemią. *Błyskawica* jest olbrzymią iskrą, wytworzoną przez to rozbrojenie. Ażeby uchronić budynki od uderzenia piorunu, stawiają na nich piorunochrony, czyli wysokie zaostrzone metalowe pręty, połączone metalicznie z ziemią; rozbrojenie trafia wówczas nie w budynek, lecz w piorunochron i spływa po nim do ziemi bez szkody dla budynku.

Gdy iskra elektryczna przeskakuje, co właściwie w niej świeci? Świeci w niej powietrze, niezmiernie mocno i nagle rozgrzane działaniem elektryczności, a także cząstki ciał, pomiędzy któremi iskra przeskakuje, od tych ciał oderwane. Rozgrzanie powietrza, niezmiernie mocne i nagłe, sprawia w niem gwałtowne i krótkie rozszerzenie; a stąd wynika suchy trzask, który słyszymy, gdy iskra przeskakuje (zob. rozdz. III).

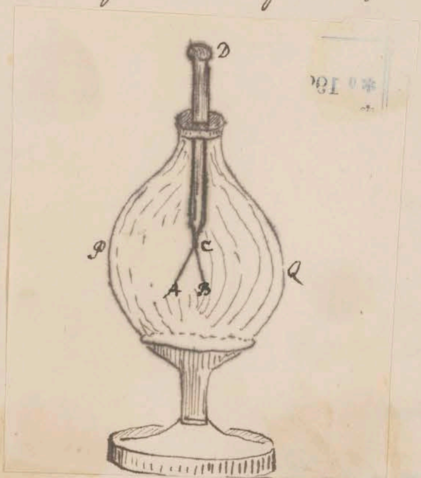
§ . Kondensator. Elektroskop. Przyciąganie i odpychanie się elektryczne.

Powiedzieliśmy, że można naelektryzować dwa druty, lub inne dwa ciała, za pomocą prądu. Niżej powiemy o innych sposobach, którymi można naelektryzować dwa ciała. Lecz przedewszystkiem wynajdźmy przyrząd, któryby wskazywał najsłabsze ładunki elektryczne, takie nawet, przy których iskra (nie może zgoła) przeskoczyć.



Zbudujmy przyrząd, wyobrażony na rys. , który nazywa się *elektrycznym kondensatorem*. Składa się on z dwóch metalowych tafelek, osadzonych na szklanych rękojeściach a oddzielonych od siebie warstwą izolującą z łyku, szkła lub poprostu lakieru. Połączmy

metalicznie jedną tafelkę kondensatora, np. górną, z biegunem dodatnim ogniwa lub bateryi, drugą zaś, dolną, z biegunem ujemnym. Wiemy wówczas, że na tafelkach gromadzą się ładunki elektryczne. Ładunki te będą tem większe, im większa jest rozległość pola tafelek i im mniejszy jest między niemi odstęp. Odłączmy teraz kondensator od ogniwa lub bateryi; ładunki elektryczne, nie mogąc ani się połączyć przez izolującą warstwę, ani odpłynąć przez szkło i powietrze, ~~[illegible]~~ zostają na tafelkach i przechowują się na nich bez straty. Zdejmijmy górną tafelkę z dolnej, będziemy mogli badać zosobna każdy z pomiędzy dwóch ~~[illegible]~~ ładunków.



Można wykazać istnienie nieznacznego nawet ładunku za pomocą elektroskopu, wyobrażonego na rys. . Na pręcie metalowym CD wiszą dwa cienkie listki złote AC, BC; pręt jest izolowany przez banię szklaną PQ, która jednocześnie ochrania listki złote od ruchu powietrza i t. p. Gdy elektroskop jest w ~~[illegible]~~ stanie zwykłym ~~[illegible]~~, listki AC, BC wiszą pionowo obok siebie. Dotknijmy w miejscu D np. górną tafelką kondensatora, który naładowaliśmy za pomocą bateryi lub ogniwa; listki rozchylają się, jak na rysunku. To pokazuje, że dwa ciała, które otrzymały ładunek elektryczny z tegosamego bieguna (tu mianowicie ~~dwa~~ ~~[illegible]~~ ~~[illegible]~~ z dodatniego bieguna) odpychają się i, jeśli mogą, oddalają się od siebie. Jeślibyśmy dotknęli w miejscu D dolną tafelką, spostrzeglibyśmy podobne rozchylanie się listków. ~~[illegible]~~ Dla krótkości mówimy, że tafelka kondensatora, która otrzymywała ładunek z dodatniego bieguna, elektryzuje się dodatnio, lub że otrzymuje dodatni ładunek; podobnie mówimy, że druga tafelka elektryzuje się ujemnie, czyli otrzymuje ładunek ujemny. A zatem przekonaliśmy się: że dwa ciała odpychają się, jeśli są naelektryzowane bądź oba dodatnio, bądź oba ujemnie. Jednocześnie uzyskaliśmy sposób wykrywania słabych nawet ładunków elektrycznych.

Przekonaliśmy się, że, jeśli dwa ciała są naelektryzowane jednakowo (tj. oba dodatnio lub oba ujemnie) wówczas odpychają się. Możemy łatwo dowieść, że dwa ciała naelektryzowane przeciwnie (t.j. jedno dodatnio a drugie ujemnie) przyciągają się.

Rys. wyobraża metalową kulkę C, zawieszoną na izolującej (np. szklanej) podstawce AB. Naelektryzujmy kulkę C ujemnie, dotknąwszy jej

Rys.

dolną tafelką naładowanego kondensatora; zobaczymy, że tafelka górna, naładowana dodatnio, przyciąga wówczas kulkę ku sobie. Tak samo zachowa się kulka, naładowana dodatnio, względem wszelkiego ciała, naelektryzowanego ujemnie.

§ . O różnych sposobach elektryzowania ciał.

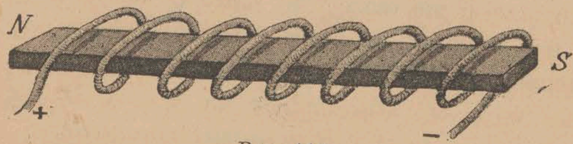
Można elektryzować ciała mnóstwem sposobów. Dwa krążki metalowe, (jeden np.) cynkowy, a drugi miedziany, przyłożone do siebie, po rozłączeniu okazują się naelektryzowane; przytem muszą być trzymane (zapomocą rękojeści izolujących, np. szklanych, inaczej ładunki przez ręce nasze i ciało spłyną do ziemi. Suchy kawałek szkła, laku lub bursztynu, przyłożony do jedwabiu, flaneli lub futra, okazuje się naelektryzowany; jednocześnie jedwab, flanela, futro elektryzują się również. Po szkle przytem, po laku, i wszystkich innych wymienionych ciałach, jako złych przewodnikach, ładunki nie rozchodzą się (jak po metalach rozchodziły się zaraz), lecz tkwią w miejscach, w których powstały. Krótkie lecz silne potarcie suchego szkła lub laku flanelą lub kawałkiem futra wytwarza znacznie większe naelektryzowanie, niż proste przyłożenie; pocierając (jedno ciało o drugie) sprawiamy bowiem, iż wiele ich miejsc po kolei zostaje przyłożonych do siebie. Na tej zasadzie polega urządzenie maszyn elektrycznych, w których krążek szklany, pocierany przez skórzane poduszki, pomiędzy któremi się kręci, dostarcza „grzebieniom" i przez nie „konduktorom" coraz nowych ładunków elektrycznych. Zapomocą takiej maszyny można wytworzyć prąd elektryczny, zupełnie podobnie, jak zapomocą ogniwa lub baterji; można np. wykazać, że prąd z maszyny elektrolizuje rozstwór jodku potasu (§), tylko znacznie powolniej, niż czyni to prąd, pochodzący z ogniwa.

Uderzenie dwóch kawałków metalu o siebie elektryzuje je. Kawałek korka, przyciśnięty do kawałka bursztynu, okazuje się naelektryzowany, podobnie jak i bursztyn. Rozerwawszy na dwie części kartę suchego papieru, lub papieru, podklejonego płótnem, możemy przekonać się, że obie części są naelektryzowane. Kawałek siarki, stopionej w szklanej parowniczce, elektryzuje się podczas stygnięcia; woda, ulatniająca się na otwartem powietrzu, elektryzuje się; i t. d. Elektryzowanie się ciał jest więc wogóle częstem i pospolitem zjawiskiem. Jakiekolwiek wszakże jest źródło elektryzowania się, czy proste zetknięcie się czy tarcie, ciśnienie, uderzenie, rozerwanie, krzepnięcie czy ulatnianie się, zawsze powstają dwa ładunki jednocześnie, jeden dodatni, drugi ujemny i ukazują się na ciałach użytych. Dzieje się wszystko tak, jak gdyby dwa przeciwne ładunki już istniały poprzednio, połączone ze sobą i tylko rozdzielały się za naszem działaniem.

Elektryzowanie się bursztynu za potarciem było znane już starożytnym; to też od wyrazu greckiego „elektron" (który znaczy „bursztyn") pochodzi nazwa elektryczności. Jednakże dopiero od końca XVIII-go stulecia rozpoczął się szybki rozwój nauki o elektryczności, w czem znaczną zasługę ma włoski uczony Volta. Nauka ta dzisiaj stanowi jedną z najpiękniejszych i najbogatszych części Fizyki i jest źródłem mnóstwa ważnych zastosowań w życiu ucywilizowanych narodów.

§ 113. Elektromagnes.

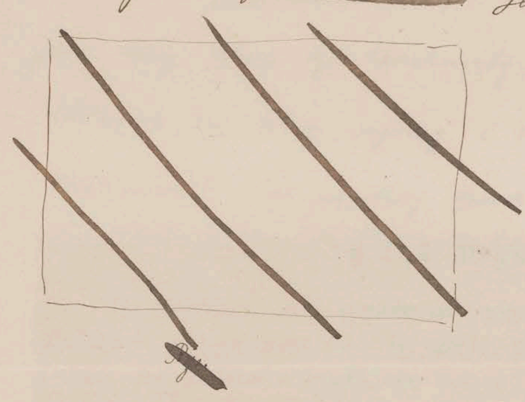
Cienki drut miedziany okręćmy starannie jedwabiem (lub bawełną, napojoną następnie woskiem stopionym); taki drut nazywa się *izolowanym.* Weźmy sztabę z miękkiego żelaza *NS* (rys. 116.) i okręćmy ją drutem izolowanym; następnie przepuśćmy prąd przez drut izolowany. Prąd nie przechodzi przez jedwab ani przez woskowaną bawełnę a zatem musi okrążyć sztabę tyle razy *dokoła,* ile jest skrętów; przez samą sztabę wcale płynąć nie będzie.



Rys. 116.

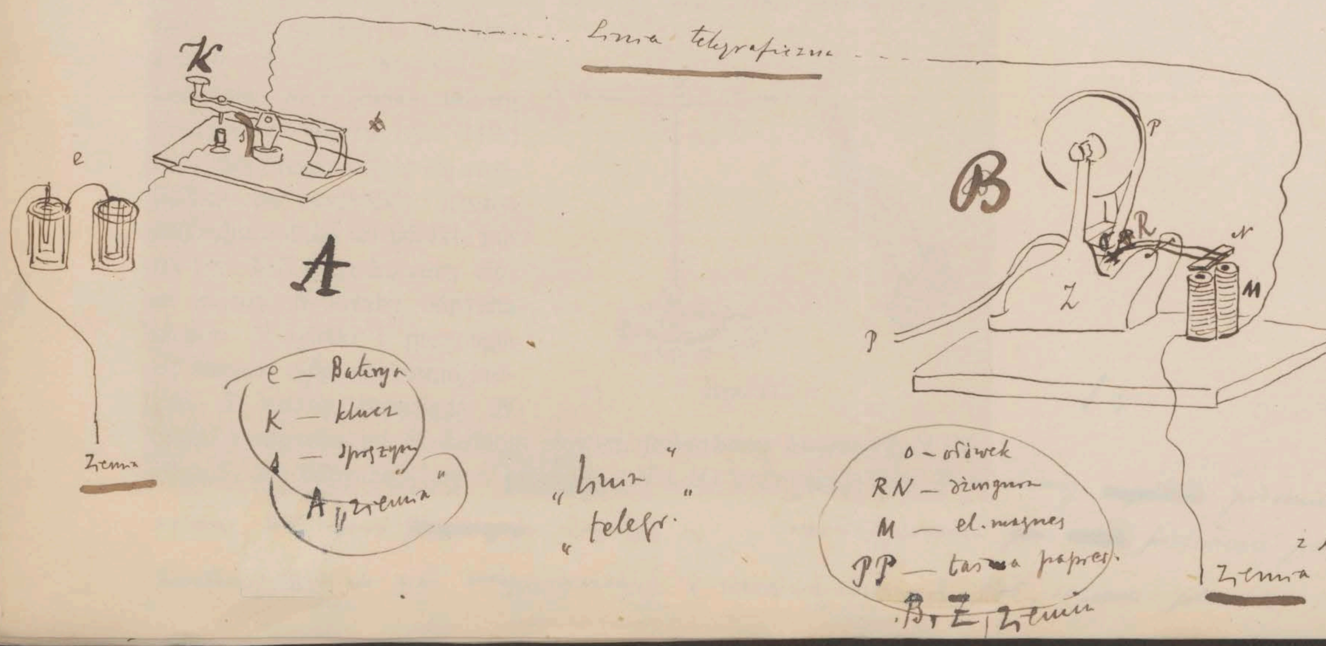
Zobaczymy, że sztaba nabiera nowych własności, tak zwanych *magnetycznych*: przyciąga np. gwoździki lub opiłki żelazne. Podnieśmy sztabę do góry; opiłki trzymają się jej z obu końców jak gdyby przyklejone; przerwijmy prąd a opadną natychmiast. Podobny przyrząd nazywamy *elektromagnesem.* Powiadamy, że elektromagnes ma własności magnetyczne, dopóki prąd elektryczny krąży koło sztaby; przerywając prąd, odbieramy mu te własności, puszczając prąd, przywracamy je napowrót.

Ażeby dana sztaba żelazna (pod wpływem danego prądu) stawała się możliwie silnym ~~elektro~~magnesem, trzeba, żeby ją prąd okrążał możliwie znaczną liczbę razy; dlatego też, budując elektromagnesy, nakładają zwoje drutu możliwie gęsto, jeden tuż przy drugim. ~~Jeśli~~ Sztaba prosta, jak na ryс. , przybrawszy własności magnetyczne, przyciąga przeważnie na swoich końcach, czyli t. zw. biegunach; ku środkowi przyciąganie jest słabsze. Ażeby oba dwa bieguny mogły wspólnie przyciągać, budują elektromagnesy zazwyczaj w kształcie litery **U** lub podkowy. ~~Taki elektromagnes wraz z „kotwicą" widzimy na rysunku~~ Jeśli przez elektromagnes podobny (będziemy) przepuszczali prąd bardzo słaby, ~~okaże~~ okaże on ~~taki~~ ~~~~ magnetyzm (słaby). Im ~~bardziej~~ silniejszym prądem będziemy go wzbudzali, tem ~~~~ bardziej wzrastać będzie jego magnetyzm; jednakowoż, poczynając od pewnej siły prądu, przyrost magnetyzmu będzie coraz powolniejszy. ~~tak iż prąd~~ Powiadamy, że, przy takim prądzie, żelazo już jest magnetycznie nasycone; (odtąd) prąd jeszcze mocniejszy nie wzbudzi w niem ~~~~ silniejszego magnetyzmu.



5. Telegraf elektryczny.

Wyobraźmy sobie dwa miasta A, B, odległe od siebie np. o 100 kilometrów. Przypuśćmy, że w pierwszem mieście A (ryс.) znajduje się baterya elektryczna e i „klucz" K, za pomocą którego ~~~~ można przerywać prąd w obwodzie bateryi i puszczać go napowrót. W drugiem mieście B niechaj znajduje się przyrząd, złożony z elektromagnesu M (ryс.) i z kotwicy N, osadzonej na dźwigni



NR, na której drugim końcu znajduje się ołówek o. Gdy elektromagnes zostaje wzbudzony działaniem prądu, kotwica N opuszcza się, koniec R podnosi się, ołówek o uderza o pasek papieru PP, który się przed nim przesuwa pod działaniem mechanizmu zegarowego w Z. Ziemia, ogniwa baterji, klucz, linia telegraficzna i elektromagnes stanowią razem całkowity obwód; jedyną przerwę w tym obwodzie stanowi klucz K. Naciskając klucz k w miejscu A, sprawiamy, iż ołówek o w miejscu B przyciska się do papieru PP i pisze po nim kreski lub kropki, stosownie do długości czasu, przez który klucz był zamknięty. Z kresek takich i kropek, według ustalonej umowy, odczytuje się litery, wyrazy i zdania. Na tej zasadzie polega urządzenie telegrafów elektrycznych; na podobnej opiera się budowa dzwonków i zegarów elektrycznych.

§ 114. Magnes.

Do doświadczenia, przedstawionego na rys. 116., użyjmy sztaby *stalowej*; przekonamy się, że sztaba przyciąga opiłki żelazne, podobnie jak sztaba z miękkiego żelaza; dalej przekonamy się, że przyciąga nie tylko dopóty, dopóki dokoła niej krąży prąd, lecz również i później, gdy prąd przerwiemy. Sztaba stalowa pod wpływem prądu staje się *magnesem* t. j. nabywa własności magnetycznych nie tylko chwilowo (jak miękkie żelazo), lecz *trwale*. Rysunek 118. okazuje taki magnes z przylegającemi do niego opiłkami.

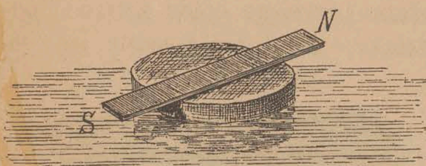
Rys. 118.

Weźmy lekką stalową igiełkę, namagnesujmy ją prądem w sposób, jaki przedstawia rys. ... i napiszmy na lewym biegunie igiełki literę *N*, na prawym *S*. Namagnesujmy podobnież sztabę stalową, łącząc końce drutu (rys. 116.) z tymisamymi biegunami bateryi jak przed chwilą i znów napiszmy: na lewym biegunie sztaby *N*, na prawym *S*. Osadźmy teraz igiełkę stalową poziomo na ostrzu (rys. 119.) tak, iżby mogła kręcić się swobodnie na wszystkie strony. Zbliżając sztabę do igiełki, jak na rys. 119., przekonamy się, że biegun *N* sztaby odpycha biegun *N* igiełki i przyciąga jej biegun *S*; odwrotnie biegun *S* sztaby przyciąga *N* igiełki i odpycha jej *S*. Jednem słowem *jednakowe bieguny* (*N*, *N* albo *S*, *S*) odpychają się a przeciwne (*N* i *S*) przyciągają się. Widzieliśmy podobnie w § , że ciała naelektryzowane jednakowo odpychają się, a naelektryzowane przeciwnie przyciągają się. W tym względzie przeto zachowanie ciał magnetycznych i naelektryzowanych jest zupełnie jednakie.

Rys. 119.

§ Magnetyzm ziemski.

Usuńmy zupełnie sztabę (w doświadczeniu poprzedniem (rys.)) a igiełka NS wykręci się na ostrzu i ustawi się w pewnym określonym kierunku; jeśli odchylimy ją lekko, powróci do tego położenia. *Koniec N igły wskazuje mniej więcej na północ* (w naszych okolicach wskazuje nieco na zachód od północy); *koniec S wskazuje mniej więcej na południe.* Takie igiełki w przyrządach, zwanych *busolami* lub kompasami, służą marynarzom i podróżnikom do odnajdywania kierunków północy i południa. A zatem ~~ziemia nasza~~ kula ziemska zachowuje się, jak gdyby była magnesem i jakgdyby miała dwa bieguny, położone mniej więcej w jej istotnych, geograficznych biegunach.

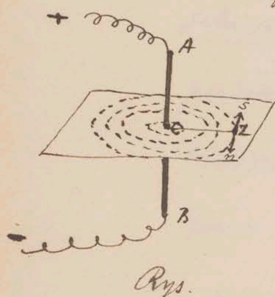


Rys. 120.

Połóżmy magnes NS na dużym płaskim korku a korek umieśćmy na wodzie (rys. 120.). Magnes wykręci się i ustawi się tak, jak igła magnesowa, ale nie popłynie cały ani na północ, ani na południe. Biegun północny ziemi przyciąga np. koniec N magnesu, ale równie mocno odpycha jego koniec S; dlatego *ziemia wykręca magnes,* ale go *nie pociąga* ani w jednym ani w drugim kierunku.

§ Działanie prądu na magnes.

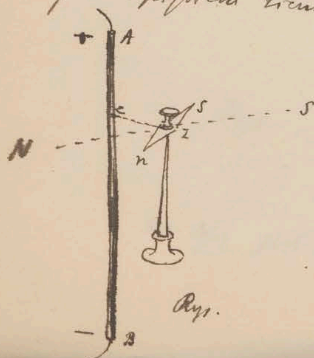
Widzieliśmy w §§ i , że prąd elektryczny, płynąc po drucie, wytwarza w pobliżu tego drutu siłę magnetyczną: w stali trwałą, w miękkiem żelazie tylko przejściową. Zbadajmy teraz dokładniej siłę magnetyczną, jaka jest w pobliżu prądu. Poprowadźmy prąd elektryczny przez



Rys.

pręcik metalowy AB (rys.), na którym umocowaliśmy poprzecznie kartkę z tektury. Jeśli posypiemy kartkę opiłkami żelaznemi, zobaczymy, że (za lekkiem wstrząśnieniem) opiłki układają się w kształcie kółek, których środkiem jest miejsce C. Prąd oczywiście magnetyzuje każdy kawałek żelaza i, skoro tylko może, wykręca go; kawałek z np. ustawia się w kierunku sn, stycznym do koła o promieniu cz.

Zupełnie podobnie działa prąd na gotowy już magnes, który znajdzie się w jego pobliżu. Weźmy np. igiełkę magnetyczną NS z doświadczenia, wyobrażonego na rys. 119; ustawia się ona sama przez się, pod wpływem ziemi, w kierunku mniej więcej z północy na południe (NS, rys.). Jeśli teraz zbliżymy przewodnik AB, po którym płynie prąd, igiełka ustawi się w kierunku ns, t.j. prostopadle i do linii cz i do kierunku AB, zupełnie podobnie jak w doświadczeniu poprzedniem (rys.). Wpływ prądu jest silniejszy niż wpływ ziemi, dlatego igiełka przyjmuje natychmiast położenie ns,



Rys.

chociaż to położenie nie zgadza się z kierunkiem NS, do którego ziemia usiłowałaby ją doprowadzić. Jeśli umieścimy poziomo drut AB, przez który prąd płynie (rys.), igła magnetyczna ustawia się znowu prostopadle do linii cz i prostopadle do kierunku AB, tj. ustawia się w położeniu ns, jakkolwiek to położenie nie zgadzało się z kierunkiem NS, do którego ziemia usiłuje doprowadzić igiełkę.

Rys. X

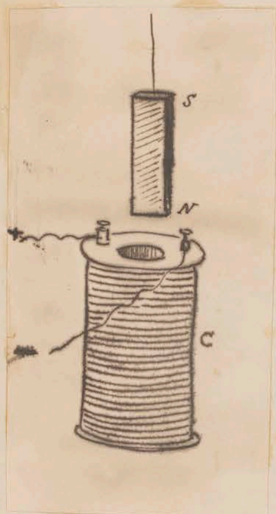
Ustawmy drut AB, przez który prąd płynie, poziomo, ale prostopadle do kierunku magnetycznego działania ziemi NS, jak na rys. ; Wówczas igła magnetyczna pozostanie w położeniu ns, jakie zajmowała przed zbliżeniem prądu; albowiem (właśnie) w tem położeniu jest prostopadłą i do cz i do AB.

Rys.

Na działaniu prądu na igłę magnesową zasadza się budowa galwanometrów, przyrządów, służących do mierzenia siły prądu, oraz galwanoskopów, których zadaniem jest wykrywać obecność najsłabszych prądów w danym obwodzie. Prosty galwanoskop widzimy na rys. Na ramce drewnianej nawijany wiele zwojów drutu doskonale izolowanego; wewnątrz ramki znajduje się igła magnetyczna. Z poprzedzających doświadczeń łatwo widzimy, że części drutu, leżące np. w AB, działają na igiełkę zgodnie z częściami, położonemi w DC. Istotnie: pamiętajmy, że prąd krąży po częściach AB w kierunku wprost przeciwnym, niż po częściach DC; pokazują to strzałki na rys. , wskazujące kierunek od dodatniego do ujemnego bieguna. Otóż, gdybyśmy np. w doświadczeniu, rys. X, przenieśli drut AB pod igłę sn, ale jednocześnie zmienili kierunek prądu na przeciwny, wychylenie igły pozostałoby bez zmiany. Działanie więc części AB i DC, rys. jest rzeczywiście zgodne. Tak samo działanie części CB na igłę jest zgodne z działaniem części AD.

Rys.

§ . Zjawisko indukcyi.



Powiedzieliśmy, że prąd wytwarza siłę magnetyczną w swojem sąsiedztwie; istotnie wytwarza ją nietylko wtedy, kiedy w sąsiedztwie znajduje się żelazo lub stal, wytwarza ją owszem zawsze, choćby np. w powietrzu, które go otacza; tylko w powietrzu siła magnetyczna nie sprawia skutków tak wyraźnych jak w żelazie ani trwałych jak w stali. Zbudujmy cewkę z drutu izolowanego, przez który przepływa prąd (rys. ; C). Cewka C zachowuje się wówczas, jak magnes: ma dwa bieguny, któremi odpycha lub przyciąga bieguny zwykłego magnesu. ~~(rys.)~~ Jeśli odwrócimy kierunek prądu, biegun N cewki staje się biegunem S, biegun zaś S dawny przechodzi w nowy biegun N.

Rys.

Wykonajmy teraz doświadczenie następujące. Z obwodu cewki C (rys.) usuńmy baterję, natomiast wprowadźmy w ten obwód czuły galwanoskop. Następnie, nagłym ruchem, opuśćmy magnes NS do wewnętrznego wydrążenia cewki. Zobaczymy, że w chwili zbliżania ~~się~~ magnesu, w cewce budzi się prąd, który wszakże znika, skoro tylko ruch magnesu ustaje. Gdy magnes znajduje się w cewce, lecz jest w spoczynku, prądu niema; jeśli go nagle wyjmiemy, spostrzeżemy na galwanoskopie znowu chwilowe pojawienie się prądu, skierowanego przeciwnie niż pierwszy.

Łatwo widzimy, że doświadczenie, które wykonaliśmy tutaj, jest dokładnem odwróceniem poprzedniego doświadczenia. W poprzedniem doświadczeniu prąd elektryczny, krążąc po zwojach cewki C, przyciągał lub odpychał magnes NS tj. usiłował go zbliżyć ku sobie lub oddalić od siebie. Przypuśćmy np. że magnes wisi po jednej stronie wagi i że z drugiej strony położono ciężarki, które równoważą ciężar magnesu. ~~Wówczas~~ Prąd w cewce zbliżał lub oddalał magnes, ~~istotnie~~; więc wykonywał pracę; energja elektryczna zamieniała się w zwykłą pracę. W doświadczeniu obecnem, przeciwnie, widocznie my dostarczamy pracy, zbliżając magnes lub oddalając go i praca nasza przemienia się w energję prądu, energję, która (jak wiemy) może przybrać następnie postać energji chemicznej, cieplnej i t.d. Powtarzam, w tem drugiem doświadczeniu, widocznie my musimy ~~my~~

dostarczać pracy (albowiem energia elektryczna nie może powstawać z niczego), więc: gdy wsuwamy magnes do cewki, prąd, który powstaje, musi być tego rodzaju, iż odpycha magnes od cewki; to odpychanie przezwyciężamy i wydajemy na to naszą pracę. Gdy wysuwamy magnes z cewki, prąd, który się tworzy, musi mieć kierunek taki, iż przyciąga magnes ku cewce; to przyciąganie przezwyciężamy i na to wydajemy naszą pracę. W obu razach budzi się prąd taki, że przeszkadza naszemu działaniu. ~~Tak musi być, według zasady, że energia nie bierze się sama przez się, bez źródła, i tak jest też istotnie.~~

Prąd, tworzący się w opisany sposób, nazywa się indukowanym; zjawisko samo nazywa się indukcyą.

Jeśli, zamiast zbliżać magnes ku cewce lub oddalać go od niej, spróbujemy zbliżać cewkę ku magnesowi lub oddalać ją od magnesu, dostrzeżemy tworzenie się prądów indukowanych takich, jakie poznaliśmy wyżej. Powiadamy zatem, że zjawisko indukcyi zależy tylko od ruchu magnesu i cewki względem siebie wzajemnie, czyli od ich ruchu względnego. Inaczej też być nie może według tego, co powiedzieliśmy o tworzeniu się energii prądu z pracy, którą (w zjawisku indukcyi) musimy dostarczać).

(Maszyny dynamoelektryczne polegają na podobnej zasadzie. Przyrząd, odpowiadający cewce w doświadczeniu powyższem, porusza się w sąsiedztwie biegunów elektromagnesu; w ten sposób tworzą się owe potężne prądy, któremi posługuje się coraz bardziej wzrastający przemysł elektryczny. Do poruszania takich „dynamomaszyn” potrzeba ogromnych ilości pracy, których dostarczają motory parowe, siły wodne itp. Jeżeli, przeciwnie, dynamomaszynę będziemy zasilali gotowym prądem, wówczas będzie ona dostarczała pracy; rozumiemy więc, jakim sposobem, za pomocą dynamomaszyn, można energię mechaniczną np. energię spadków wodnych, zamienić na elektryczną, przesyłać po drutach do innej miejscowości i tam napowrót zamieniać na mechaniczną. Postępowanie takie nazywamy elektrycznem przesyłaniem lub przenoszeniem energii.

§. Telefon

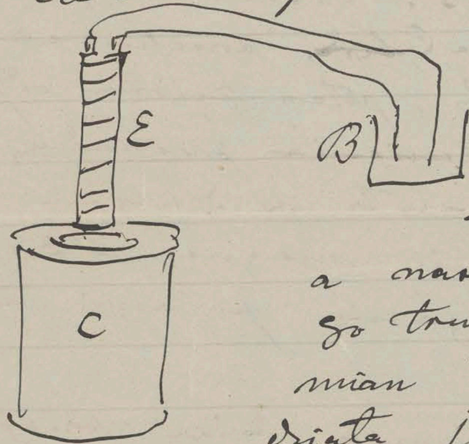
Doświadczenie opisane w poprz. § możnaby odmienić w następujący sposób. Zawieśmy magnes ~~NS~~ M ponad cewką C na sprężynie. Potrąćmy magnes do góry i ~~tak~~ na dół, ~~[illegible]~~ w taki sposób, żeby wykonywał szybkie wahania, ~~naprzemian na dół i do góry~~. Za każdym ruchem na dół będzie on wzbudzał w cewce prąd indukcyjny płynący ~~w pewnym~~ jednym kierunku; za każdym ruchem do góry wywoła prąd indukcyjny w kierunku przeciwnym. Połączmy końce drutu izolowanego, nawiniętego na cewkę z końcami drutu nawiniętego na drugiej podobnej cewce C'. ~~Druga cewka może znajdować się w osobnej [illegible] w innej części miasta, odległości np. na drugim [illegible], a druty łączące mogą być urządzone na podobieństwo drutów telegraficznych.~~ Nad tą drugą cewką zawieśmy znowu ~~magnes~~ na sprężynie magnes ~~NS~~ M'. Zrozumiemy łatwo że prądy indukcyjne wzbudzone w cewce C, ~~będą~~ przechodząc przez cewkę C' będą naprzemian przyciągały, potem znowu odpychały magnes ~~NS~~ M', bo ~~kierunek ich zmienia~~ przechodzą przez tę cewkę naprzemian to w jednym to w drugim kierunku. Wprowadziliśmy więc w drganie magnes ~~NS~~ M a dostrzeżemy, że zupełnie podobne drganie pojawi się w magnesie ~~NS~~ M'.

Za pomocą prądu elektrycznego można więc przesłać ~~drgan~~ ruchy drgające do miejsc nawet bardzo odległych, bo druty łączące ~~dwie~~ cewki mogą być długie, jak druty telegraficzne. Wiemy jednak, że dźwięki powstają wskutek drgań szybkich, możemy tedy przesłać dźwięki. Z dźwięków równie szybkich, i różnie łączonych, składa się mowa ludzka, możemy zatem przesłać i mowę. Do tego celu służą telefony. ~~Jest~~ Są to przyrządy urządzone na wzór i podobieństwo powyższych cewek. Zamiast magnesu zawieszonego na sprężynie, który jest zbyt ciężki, ażeby go mogły poruszyć drgania głosowe, mamy w telefonie ~~sprężystą~~ ~~[illegible]~~ żelazną blaszkę M ~~NS~~, tuż obok której znajduje się silny magnes ~~N~~ NS ~~NS~~, przez co i sama blaszka staje się magnetyczną. ~~Tu~~ Cewka C ~~osadzona~~ jest na samym magnesie tuż obok blaszki. Żeby rysunek był wyraźny narysowano na nim tylko blaszkę, magnes i cewkę, a opuszczono

drewniane albo kauczukowe pudełko w którem te części telefonu są umocowane. ~~W pudełku jest wycięcie naprzeciw~~ Gdy się mówi do blaszki, ~~z [illegible]~~ trzymając telefon blisko ust, dźwięk ~~głosu~~ wprowadza blaszkę w szybkie drganie. Drganie blaszki wzbudza ~~również szybko prze~~ prądy indukcyjne zmieniające również szybko kierunek a prądy te przebiegające po drutach ~~[illegible]~~ do drugiego telefonu wprowadzają w drganie znajdującą się w nim blaszkę M'. Ktokolwiek przyłoży drugi telefon do ucha usłyszy wyraźnie wyrazy wymawiane przed pierwszym telefonem.

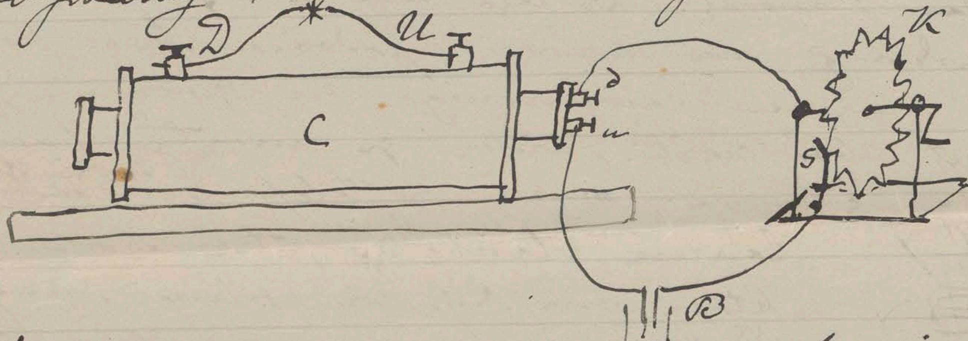
§. — Induktor.

Odmieńmy doświadczenie §— jeszcze inaczej. Zamiast cewki C i zwyczajnego magnesu NS możemy ~~wykonać doświadczenie~~ z równym skutkiem wywoływać prądy indukcyjne zapomocą cewki C i elektromagnesu E, ~~jak wskazuje rys.~~ któremu nadaliśmy własności magnetyczne zapomocą prądu wytwarzanego przez ogniwo B (albo baterye ~~ogniw~~ podobnych ogniw, jeśli skutki mają być silne). Wreszcie zamiast wsuwać elektromagnes w cewkę a następnie wyjmować go, możemy zostawić go trwale we wnętrzu cewki a natomiast naprzemian zamykać i otwierać prąd. Każde zamknięcie drutu jak wsunięcie elektromagnesu w cewkę



t.j. ~~[illegible]~~ wywołuje w drucie owiniętym na cewce ~~krótko~~ przemijający, krótko-trwały prąd indukcyjny. Każde przerwanie prądu ogniwa, daje podobny prąd indukcyjny w przeciwnym kierunku.

Cewkę indukcyjną zawierającą wewnątrz elektromagnes nazywamy induktorem. Na rys. — D i U oznaczają śrubki umieszczone na końcach drutu owiniętego na cewce (induktora); d i u są podobne śrubki na końcach drutu owiniętego na elektromagnesie.



Do szybkiego przerywania i zamykania prądu w elektromagnesie można użyć metalowego kółka zębatego K obracanego korbką. ~~Na obwodzie~~ Obok kółka przymocowana jest sprężyna S ~~od~~ o którą uderzają zęby, zamykając ~~i przerywając~~ tym sposobem prąd, ~~i przerywając~~ i ~~[illegible]~~ potem, gdy sprężyna zsunie się z zęba prąd znowu się przerywa. Można też zastosować ~~[illegible]~~ do przerywa—

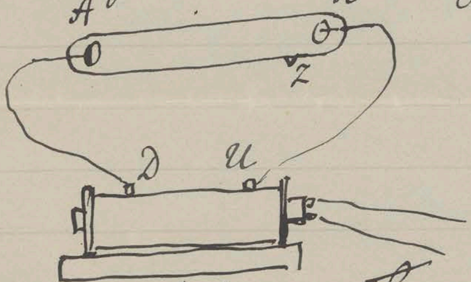
nia prądu pokrzecenie podobne do tego jakiego się używa w
dzwonkach elektrycznych. Zresztą sposób przerywania i zamykania
prądu nie ma ważnego znaczenia, może być jakikolwiek.

5. — Doświadczenia z induktorem

a) Jeżeli wprowadzimy w ruch przerywacz prądu ogniwa B a
położymy ręce na śrubkach D i U cewki wewnętrznej
silne wstrząśnienia sprawione przez elektryczne prądy indukcyjne,
powstające w cewce C, przy każdem zamknięciu i przy każdem przerwaniu prądu
w elektromagnesie

b) Napięcie prądu indukcyjnego będzie tem większe im więcej drutu nawiniemy na
cewce C. Z tego powodu drut owinięty na cewce bywa cienki, a bardzo długi (długość jego
wynosi na wielkich induktorach kilka mil). Na elektromagnesie znowu nawinięty jest
drut niedługi ale gruby, żeby prąd baterji nie spotykał w nim znaczniejszego oporu.
W tych warunkach induktor dostarcza prądu o tak wielkiem napięciu, że może
utorować sobie drogę nawet przez powietrze i utworzyć iskrę elektryczną. Widzimy to
na fig — gdzie do śrub D i U przymocowane są dwa kawałki drutu, których
końce nie stykają się. W tej przerwie pojawia się iskra za iskrą, przy każdem
przerwaniu prądu.

c) Gdyby powietrze było ~~roz~~rzedzone, wówczas możnaby końce drutów znacznie
więcej rozsunąć a prąd indukcyjny przechodziłby mimo to. Do tego doświad-
czenia używa się szklanej rurki albo bańki AK we wnętrzu której przed

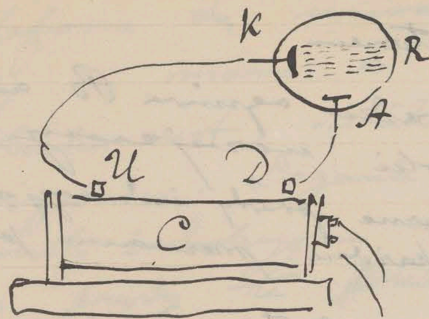


jej zamknięciem, czyli zalutowaniem (w Z), rozrzedzo
no powietrze zapomocą pompy. Przez ścianę rurki
wchodzą do wnętrza dwa wlutowane w nią druciki
A i K, zakończone metalowemi płytkami.
Druciki te łączymy ze śrubkami induktora. Prąd
indukcyjny przechodzi przez powietrze rozrzedzone,
ale nie tworzy w tym razie iskry, tylko daje
wspaniałe świecącą łunę zajmującą prawie całą rurkę od A do K

d) Jeżeli w podobnej rurce powietrze będzie rozrzedzone (niemal) do najwyższego stopnia,
jaki daje się osięgnąć zapomocą najlepszych pomp powietrznych, wówczas
zjawisko przedstawia się zgoła inaczej. Łuna znika prawie zupełnie, a
natomiast z jednej z płytek metalowych K ~~(A) tej która jest katodą wobec prądu~~
~~indukcyjnego powstającego~~ wytryska snop ledwie widocznych promieni,
które przebiegają przez rurkę w liniach prostych i kończą się dopiero na
naprzeciwległej ścianie rurki. Promienie te wychodzą z tej płytki, która jest
katodą (§...) wobec prądu indukcyjnego powstającego przy przerwaniu
prądu baterji i z tego powodu zowią się promienie katodowe. Promienie
te świecą bardzo słabo, ale natomiast szkło samej rurki świeci jasnem
zielonem światłem, tam gdzie je trafiają promienie katodowo

e) Niedawno dostrzegł Röntgen, że z tych świecących pod wpływem promieni
katodowych ścian rurki rozchodzą się wokoło zgoła inne promienie,
zupełnie niewidzialne, ale obdarzone nader osobliwemi własnościami.
Oto te t. zw. promienie Röntgena działają na płytki fotograficzne podobnie
jak zwykłe światło. Nadto wywołują jasne świecenie w pewnych ciałach
zwanych fluoryzującemi. ~~(platynocyanek baryu)~~ Kartka papieru przypana
takim fluoryzującym platynocyankiem barowym świeci się gdy ją trafiają
promienie Röntgena, podobnie jak szkło świeci się pod wpływem promieni
katodowych. Najważniejszą własnością promieni Röntgena jest to,

że przechodzą swobodnie przez wiele ciał, nieprzepuszczających wyraźnego światła (nieprzezroczystych) F. Jeżeli więc ukazuje się promienie te, wychodzące z punktu R rurki, trafiają ~~rękę~~ dłoń przyłożoną do ~~tektury~~ kartki fluoryzującej, pokrytej z odwrotnej strony platynocyjankiem barowym, wówczas kartka świecić będzie pod miękkiemi częściami dłoni, ale nie będzie świeciła tam, gdzie ją chronią kości przed dostępem promieni Röntgena. Tym sposobem szkielet ręki staje się widzialnym na kartce, rzuca bowiem na nią cień.





F przez papier, drewno, ciało ludzkie i t.p. Natomiast ciała o większym ciężarze właściwym, jak ołów, żelazo, kamienie wapienne, kości nie przepuszczają tych promieni, albo przepuszczają je słabiej

Rozdział VI

str 2
str 13 skrócić!
opuścić linie sc tc

Rozdział VI

Teleskop
Mikroskop
Aparat fotograficzny

—

Analizę spektralną wypuścić

ROZDZIAŁ SZÓSTY.

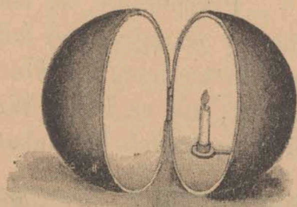
O promieniowaniu.

§ 115. Światło.

W zupełnej ciemności nic nie widzimy; widzimy tylko wtedy, kiedy jest *jasno*. Gdy słońce wschodzi na niebie, ciemność nocy przerzedza się i robi się jasno; powiadamy więc, że słońce ***wydaje*** lub ***wysyła światło***, dzięki któremu widzimy. Podobnie, podczas burzy w nocy, błyskawice rzucają nagłe i krótkotrwałe światło na cały widnokrąg. Płomień świecy lub lampy rozprasza ciemność w pokoju, więc wydaje światło, jak błyskawica lub słońce, tylko światło słabsze.

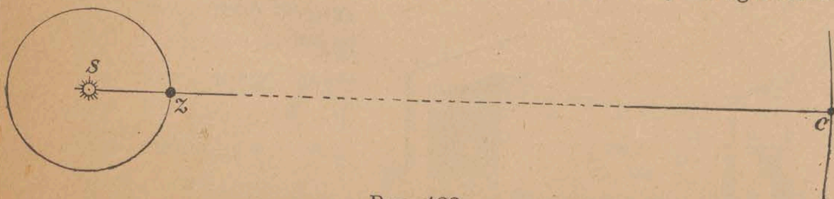
§ 116. Słabnięcie światła.

Weźmy dwa pudełka kuliste, nierównej wielkości, wyklejone wewnątrz białym papierem; jedno takie pudełko jest ~~z pomiędzy tych dwóch pudełek~~ wyobrażone ~~jest~~ na rysunku. Umieśćmy zapaloną świecę w środku jednego, to znów drugiego pudełka. ~~kuli~~. Zauważymy (zwłaszcza, gdy rozmiary kul różnią się znacznie), że wnętrze dużej kuli jest oświetlone ***słabiej*** niż wnętrze małej kuli; tosamo światło, padając na rozleglejszą powierzchnię, daje oświetlenie słabsze każdej jednostce jej pola. Rozumiemy teraz, dlaczego, spoglądając przy świetle świecy na ćwiartkę papieru, widzimy ją oświetloną tem słabiej, im dalej znajduje się ona od płomienia. Albowiem możemy ~~sobie~~ zawsze ~~wystawić~~ wyobrazić sobie, że ta ćwiartka papieru to jak gdyby część kulistej powierzchni, zbudowanej w myśli dokoła płomienia. Jeśli odległość od płomienia jest niewielka, to i ta kulista powierzchnia byłaby niewielka; jeśli odległość jest znaczna, wówczas i rozległość powierzchni byłaby znaczna, więc światło dawałoby oświetlenie słabe każdej jednostce jej pola.



Rys. 121.

Słońce nasze jest takąsamą gwiazdą jak inne ~~tam~~ gwiazdy, t. zw. stałe, których tyle widzimy na niebie. A jednak ukazuje się nam tak zgoła inaczej. Słońce nie tylko jest samo widzialne, lecz i rozświeca ~~nam~~ wszystko dokoła; tymczasem gwiazdy nie oświetlają ziemi (lub raczej oświetlają ją bardzo słabo). Otóż ta różnica Tłumaczy się ta two niezmiernem oddaleniem gwiazd. ***Najbliższa*** z pomiędzy gwiazd stałych (***planety***, jak Wenus, Mars, Jowisz, trzeba odróżniać od gwiazd stałych) znajduje się 260000 razy dalej od nas, niż słońce. Wystawmy sobie, że ziemia nasza Z (rys. 122.), zamiast krążyć w obecnej swej odległości od

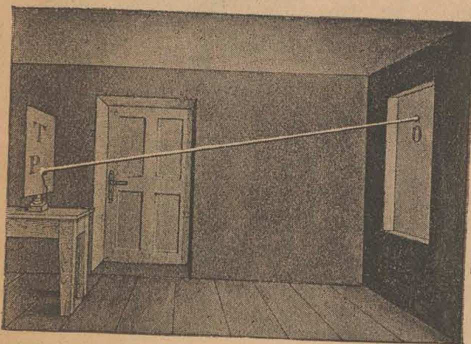


Rys. 122.

słońca S, odsuwa się od niego 260000 razy dalej, np. aż do C na rys. , na którym należy wyobrazić sobie punkt C 260000 razy dalej oddalonym od S niż punkt Z. Ziemia Z, w teraźniejszej swej odległości od słońca, SZ, zajmuje pewien ułamek kulistej powierzchni SZ (zatoczonej dokoła słońca promieniem SZ) i otrzymuje też odpowiedni ułamek całego światła, wysyłanego przez słońce ~~na~~ we wszystkie strony. Jeśli odległość SC jest ~~znacznie~~ nieporównanie większa, niż SZ, powierzchnia kulista o promieniu SC jest nieporównanie bardziej rozległa, niż powierzchnia kulista SZ; zatem ta sama ziemia, przeniesiona do C, wykrawałaby z tej powierzchni SC ułamek bezporównania mniejszy, niż wprzódy ~~niż wprzódy~~; więc otrzymywałaby wówczas ~~[illegible]~~ bezporównania mniejszy ułamek całego światła, wysyłanego przez słońce, niż ten, jaki dziś otrzymuje. W takiem właśnie położeniu znajdujemy się względem gwiazd t. zw. stałych. Otrzymujemy niezmiernie drobne ułamki całkowitego światła, jakie one wysyłają; ~~gwiazdy~~; ~~i tylko~~ dlatego gwiazdy te ~~[illegible]~~ wydają się nam ~~[illegible]~~ świecącemi punktami na niebie. W istocie są to słońca olbrzymie, przeważnie większe i potężniejsze od naszego słońca (tj. od ~~[illegible]~~ gwiazdy, od której znajdujemy się stosunkowo ~~tak~~ bardzo blisko); wszechświat zaś zawiera miliony i miliony takich słońc, które zażą się w niezmiernych odległościach od siebie. –

§ 117. Światło rozchodzi się po liniach prostych.

Przypuśćmy, że widzimy w ciemności światło np. latarki i że chcemy jaknajprędzej dojść do niej; skierujemy się wówczas wprost w tym kierunku, w którym światło widzimy, nie pójdziemy ani na prawo, ani na lewo. Wiemy z doświadczenia, że światło rozchodzi się w prostych kierunkach, że biegnie po liniach prostych.



Rys. 123.

Zasłońmy szczelnie okna w pokoju (rys. 123.) i wpuśćmy światło słoneczne przez mały, okrągły otwór O w zasłonie. Widzimy jasną plamę P (czyli obraz) na przeciwległej ścianie lub na podstawionej tablicy T. Poprowadźmy Γ sznurek od otworu w zasłonie do obrazu na tablicy. Sznurek zajaśnieje, gdy wyprężymy go mocno i będzie błyszczał od światła; światło biegnie w prostym kierunku, dlatego idzie teraz przez sznurek / od końca do końca.

obcieni [illegible?]

napr [illegible?]

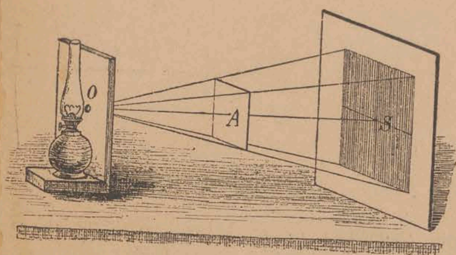
Γ nić lub cieniutki

Kierunek prom. św. zgadza się z kier. nici napiętej całk. [illegible]

/ nawskroś

3

Ciała metalowe, drewniane i t. p., gdy są dość grube, nie przepuszczają światła, są *nieprzezroczyste*. Takie ciała muszą przeto *rzucać cienie*, skoro światło rozchodzi się po liniach prostych. Nieprzezroczysty kwadracik *A* (rys. 124.), oświetlony płomieniem przez *O*, rzuca kwadratowy cień *S* na tablicę. Jeśli odległość *OS* jest dwa razy większa od odległości *OA*, wówczas pole *S* jest cztery razy większe od pola *A*; arkusik papieru, wycięty wzdłuż granic *S* i złożony następnie we czworo, dokładnie przykrywa *A*. Usuńmy *A*; *S* otrzymuje wówczas światło, jakie otrzymywał *A*. Widzimy przeto, że na każdy z kwadracików, z których składa się *S*, przypada tylko czwarta część światła, jakieby on otrzymywał, gdyby był umieszczony w odległości *OA*. Ćwiartka papieru w odległości np. 2 metrów



Rys. 124.

od płomienia, otrzymuje czwartą część światła, jakie otrzymywałaby od niego w odległości jednego metra; w odległości trzech metrów, czterech metrów i t. d., otrzymywałaby dziewiątą część, szesnastą część i t. d. Powiadamy krócej: natężenie światła słabnie w stosunku odwrotnym do kwadratów odległości od źródła; albowiem 4 = 2×2, 9 = 3×3, 16 = 4×4 i t. d. Tosamo prawo wynika z tego, co powiedzieliśmy w artykule poprzednim. Wiadomo (istotnie), że powierzchnie kul, zataczanych dokoła jakiegobądź punktu coraz większemi promieniami, są coraz większe, mianowicie w stosunku kwadratów promieni. Gdyby np. słońce odsunęło się od nas 260 tysięcy razy dalej, niż się znajduje obecnie, otrzymywalibyśmy od niego 67600 milionów razy mniej światła, niż otrzymujemy go dziś.

// od wiersza

Na podstawie prawa o słabnięciu światła w stosunku odwrotnym do kwadratów odległości zasadza się budowa przyrządów, zwanych fotometrami, które służą do porównywania natężenia danego źródła światła z innem, obranem za stałą miarę, albo za jednostkę.

§ 118. Prędkość rozchodzenia się światła.

Tylko

Z jaką prędkością rozchodzi się światło? Co o tem możemy powiedzieć z naszego codziennego doświadczenia? ~~Ale~~ tyle, że światło musi rozchodzić się z nadzwyczaj~~nie~~ znaczną prędkością. Wiemy np., że błysk wystrzału armaty dobiega nas znacznie wcześniej od huku; światło błyskawicy dobiega nas znacznie wcześniej od grzmotu. A wszakże głos rozchodzi się prędko: w powietrzu przebywa on 340 metrów w ciągu sekundy (§ 65.). Światło biedz musi jeszcze znacznie prędzej od głosu. Uczeni zmierzyli prędkość rozchodzenia się światła; przekonali się oni, że ***światło przebiega 300000 km w ciągu sekundy***. A zatem światło biegnie około 900000 razy prędzej od głosu; w tymsamym czasie np., w którym huk wystrzału oddalił się dopiero o jeden ***milimetr*** od miejsca wystrzału, błysk wystrzału zdołał już od tego miejsca odbiedz blizko o cały ***kilometr***.

O jednym z poniższych sposobów, jakiemi zmierzono prędkość rozchodzenia się światła, powiemy w artykule następnym.

§ 119. Zaćmienia księżyca Jowisza.

Przypuśćmy, że w miejscu np. *A* (rys. 125.) strzelają raz po raz z armaty; przypuśćmy, że strzał następuje po strzale w równych odstępach czasu, np. co jedną minutę czyli co 60 sekund. Pierwszy strzał słyszymy w miejscu np. *B*.

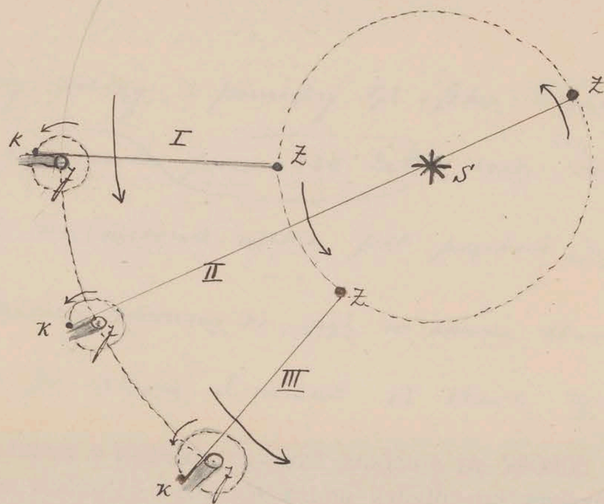


Rys. 125.

Usłyszawszy go, ~~idziemy~~ poruszamy się ku *A*; drugi strzał dochodzi nas w miejscu np. *C*; przypuśćmy, że *BC* wynosi 340 metrów. Drugi strzał był dany dokładnie w 60 sekund po pierwszym a jednak usłyszymy go nie w 60, lecz w 59 sekund po pierwszym; albowiem, ~~idąc na spotkanie głosu, spotykamy się z drugim wcześniej niż z pierwszym.~~ drugi strzał, ażeby dojść do nas, odbył drogę, o 340 metrów krótszą niż pierwszy, a więc był w drodze o sekundę krócej niż pierwszy. ~~Idąc~~ Posuwając się dalej, usłyszymy podobnież w *D* głos trzeciego wystrzału w 118 sekund, nie zaś w 120, po pierwszym i t. d. Byłoby przeciwnie, gdybyśmy się oddalali od *A*: usłyszelibyśmy ~~wtedy~~ wówczas drugi strzał po upływie 61 sek., zamiast po upływie 60 sek.; trzeci strzał po upływie 122 sek., zamiast 120 sek., i t. d., albowiem wówczas strzały przebywałyby, zamiast nas dobiegać, drogi coraz dłuższe. Przypuśćmy ~~teraz~~, że nie wiemy o tem, iż jesteśmy w ruchu; sądzilibyśmy wówczas, że strzały wydawają się niezgodnie za wcześnie w pierwszym, ~~zaś~~ ~~tez~~ za późno w drugim przypadku.

Zupełnie podobne zjawisko zauważyli astronomowie w układzie słonecznym, którego część stanowi nasza ziemia. Ziemia *Z* (rys.) krąży dokoła słońca *S*; planeta Jowisz *J* krąży również dokoła słońca, tylko w odległości znaczniejszej; kierunek krążenia ziemi i Jowisza wskazują na rysunku -im strzałki. Dokoła Jowisza krążą jego księżyce, z których jeden *k* widzimy na rysunku. ~~Ten~~ Księżyc *k* co kilkadziesiąt godzin zanurza się w cień Jowiszowy; to wkraczanie w cień, czyli początek zaćmienia księżyca, powtarza się regularnie, t. j. w odstępach czasu stałych, podobnie jak strzały armatnie w przykładzie poprzednim powtarzały się co 60 sekund regularnie. Nam jednak, znajdującym się na ziemi *Z*, wydaje się, że owe wkraczania w cień Jowiszowy nie powtarzają się regularnie. Ziemia nasza obiega słońce prędzej niż Jowisz; i jeżeli np. w pewnej chwili ziemia, Jowisz i jego księżyc zajmują położenie I (rys.), tedy po upływie mniej więcej 6½ miesięcy, mają położenie II (na tymże rysunku), po upływie

5



nowych 6½ miesięcy zajmują położenie III; i t. d. Pomiędzy każdemi dwiema takiemi chwilami: I i II, II i III, i t.d. księżyc Jowisza odbywa 112 razy drogę dokoła swej planety. Astronomowie na ziemi, dostrzegają początek zaćmienia księżyca Jowisza, gdy światło od niego dobiegnie do ziemi, t.j. gdy odbędzie drogę KZ. Ale z rysunku widzimy odrazu, że droga KZ nie jest zawsze jednakowa; w położeniu II jest dłuższa, niż w położeniu I, dłuższa jest mianowicie o długość średnicy drogi ziemskiej dokoła słońca; w położeniu III znowu jest krótsza, niż w II, o całą tę długość. Średnica drogi ziemskiej dokoła słońca wynosi przeszło 298 milionów kilometrów; światło, które biegnie z prędkością 300 tysięcy kilometrów na sekundę, zużywa więc przeszło 16½ minuty na odbycie tej drogi. A zatem: jeśli pierwszem wkroczeniem księżyca K. w cień Jowiszowy nazwiemy to, które odbyło się w położeniu I, tedy wkroczenie setne trzynaste, w położeniu II, powinno wydać się nam spóźnionem o 16½ minuty; wkroczenie 225-te, które wydarzy się w położeniu III, powinno wydać się przyśpieszonem o 16½ minuty; i t. d. Tak też rzeczywiście wydają się astronomom początki zaćmień księżyca Jowisza; zkąd wynika, że światłu potrzeba istotnie 16½ minuty na przebycie średnicy drogi ziemskiej, albo przeszło 8 minut na przejście od słońca do ziemi.

§ 120. Odległości nasza od słońca i gwiazd.

Przekonaliśmy się, że światło zużywa przeszło 8 minut czasu na przebycie drogi od słońca do ziemi.

Najszybszy pociąg z pomiędzy tych, jakie biegną na naszych drogach żelaznych, musiałby pędzić (bezustanku przez 330 lat), ażeby nas zawieźć na słońce; to porównanie uczy, jak niezmiernie wielka jest prędkość, z jaką rozchodzi się światło.

Zkądinąd wiemy, że, gdyby w pewnej chwili słońce nagle zagasło, spostrzeglibyśmy to dopiero po upływie 8 minut od chwili zgaśnięcia.

Najbliższa z pomiędzy gwiazd znajduje się 260000 razy dalej od nas niż słońce (§ 116.). A zatem światło tej gwiazdy biegnie przez dwa miliony przeszło minut, czyli *przez 4 lata mniej więcej*, zanim dobiegnie do ziemi. Inne gwiazdy znajdują się jeszcze dalej. Gwiazda *Syryusz* np. znajduje się tak daleko, że światło jej biegnie przez ~~[illegible]~~ lat, zanim dobiegnie do ziemi. Tymczasem, gdyby światło mogło przejść przez kulę ziemską, odbyłoby ono w ciągu $\frac{1}{23}$-ej części sekundy drogę prostą od bieguna północnego do południowego. Jeżeli zważymy, jak niezmiernie małą cząstką ~~[illegible]~~ lat jest $\frac{1}{23}$-cia część sekundy, dojdziemy do wniosku, że cała nasza ziemia wobec wszechświata jest jak gdyby kropelką wobec oceanu. Gwiazda α Niedźwiedzicy małej, zwana polarną albo biegunową, znajduje się tak daleko, że światło jej dobiega nas dopiero po upływie przeszło 46 lat. —

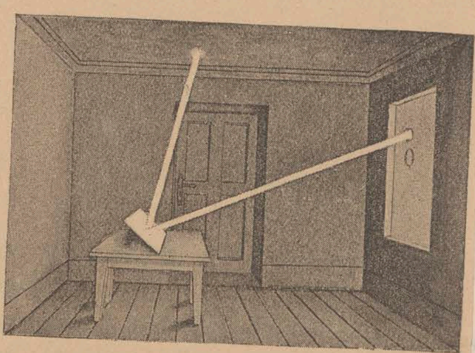
blizko 9

9-ciu

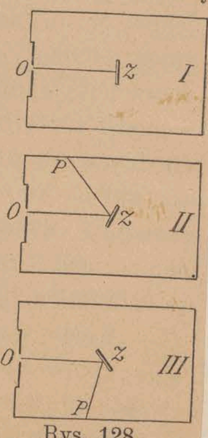
§ 121. Odbijanie się światła.

Wpuśćmy snop światła słonecznego do ciemnego pokoju, jak w § 117.; pozwólmy mu paść na zwykłe, płaskie lusterko czyli zwierciadełko (rys. 127.). Zobaczymy, że światło *odbija się* od zwierciadła, biegnie np. do sufitu i tworzy tam obraz jasny, jaki poprzednio padał na tablicę. Wystawmy sobie pokój, widziany z boku, lub jak gdyby przecięty płaszczyzną pionową (rys. 128.); *O* jest otworem w zasłonie okiennej, *Z* wyobraża zwierciadło. Ustawmy najprzód zwierciadło *Z* tak, ażeby było prostopadłe do snopu ~~promieni~~, t. j. ażeby z żadnej strony nie nachylało się ku niemu (rys. 128., I). Wówczas światło odbija się wprost napowrót do otworu w zasłonie; wówczas nie widzimy odbitego obrazu. Ustawmy teraz zwierciadło jak na rys. 128., II.; podnieśmy część dolną zwierciadła ku kierunkowi *OZ*, tak iż snop ⌈ padając~~ych promieni~~ jest nachylony ku dolnej części zwierciadła. Spostrzegamy natychmiast obraz *P* na suficie. A zatem, gdy światło padające nie pochylało się ani ku dolnej, ani ku górnej połowie zwierciadła (t. j. gdy było prostopadłe do niego), światło odbite nie pochylało się również ku żadnej. Gdy zaś światło padające pochyliło się ku części dolnej zwierciadła, światło odbite pochyliło się zaraz

⌈ światła 1:ego



Rys. 127.



Rys. 128.

ku górnej. I przeciwnie: gdy zbliżymy górną część zwierciadła ku kierunkowi OZ (jak na rys. 128., III.), wówczas obraz P pojawia się na podłodze, wówczas zatem światło odbite pochyla się ku dolnej części zwierciadła. ~~W taki sposób odbija się światło.~~

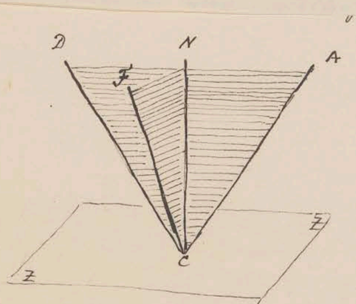
§ . Prawo odbijania się światła.

Ażeby poznać dokładniej prawo odbijania się światła, powtórzmy doświadczenie poprzednie w sposób nieco odmienny. Ustawmy, na poziomo rozpostartym arkuszu papieru (rys.) zwierciadło Z dokładnie pionowo. Wpiąwszy dwie szpilki A, B w papier przed zwierciadłem, poszukajmy takiego miejsca, z którego patrząc (jednem okiem) widzielibyśmy odbicia obu szpilek A, B w jednem miejscu, jakby nałożone jedno na drugie. Takiem miejscem na rysunku będzie E.

Widocznie zatem światło, dzięki któremu widzimy odbicie szpilki A, biegnie ku zwierciadłu w kierunku ABC, tam odbija się i ku patrzącemu idzie w kierunku CE. Narysujmy na papierze: 1) linią ABC; 2.) linią LM, przecięcie płaszczyzn zwierciadła i papieru; 3.) linią CN, prostopadłą do LM; nareszcie 4.) linią CE; tę ostatnią poprowadzimy, jeśli, patrząc z miejsca E, tuż wpoprzódy, umieścimy trzecią szpilkę D tak, żeby przykrywała odbicie dwóch poprzednich A, B. Jeśli teraz spojrzymy na rysunek, który otrzymaliśmy na papierze, dostrzeżemy, że linie ABC i EDC są jednakowo nachylone do LM; innemi słowy, że kąty ACN i DCN są równe sobie. Jeżeli np. wzięliśmy odstęp CD równy CA, wówczas wypada DN = NA; to zaś jest dowodem równości kątów ACN i DCN.

Ażeby módz wyrazić zwięźle prawo odbijania się światła, będziemy nazywali kierunek ABC, w którym światło biegnie ku zwierciadłu, promieniem padającym; kierunek zaś CDE, w którym oddala się od zwierciadła, promieniem odbitym. Powiadamy wówczas: promień odbity tworzy z prostopadłą do płaszczyzny

zwierciadła kąt równy temu, jaki z nią tworzy promień padający. Jednakże łatwo widzimy, że to prawo jeszcze nie jest dostateczne. Przypuśćmy, że mamy płaszczyznę zwierciadła ZZ

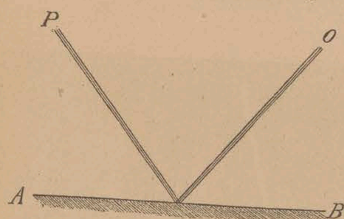


daną (rys.); dana jest prostopadła CN i kierunek promienia padającego CA. Bardzo wiele linij tworzy z CN takisam kąt, jaki z CN tworzy CA; naprzykład CF. Tymczasem nie CF oczywiście będzie promieniem odbitym, lecz tylko CD. Trzeba więc uzupełnić prawo powyższe, mianowicie w sposób następujący:

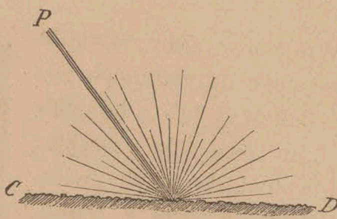
Promień odbity leży w płaszczyźnie, w której znajduje się promień padający i prostopadła do płaszczyzny zwierciadła. Naprzykład, w doświadczeniu, wyobrażonem na rys. pozioma płaszczyzna papieru i każda inna pozioma płaszczyzna, równoległa do papieru, zawiera pewien promień padający i odpowiednią prostopadłą do płaszczyzny zwierciadła; że zawiera ona zarazem i promień odbity, widzimy bezpośrednio: inaczej odbicie szpilki wydawałoby się wyższe lub niższe niż ona sama.

§ 122. Rozpraszanie się światła.

Wystawmy sobie dwie powierzchnie: jedną *AB* (rys. 129.) gładką, równą, zbitą, jaką ma szkło, rtęć lub wypolerowany me-



Rys. 129.



Rys. 130.

tal; drugą *CD* (rys. 130.), nierówną, nieco ziarnistą lub chropowatą, ~~jednem słowem~~ pełną drobniutkich wyniosłości i zagłębień. Taką powierzchnię ma zwyczajnie papier, gips, drzewo (nie pokryte politurą), płótno; taką również ma skóra naszego ciała. Snop światła *P*, padającego na pierwszą powierzchnię, da podobny snop światła odbitego *O*, gdyż wszystkie jego promienie odbiją się jednakowo od powierzchni *AB*. Inaczej dzieje się na powierzchni *CD*. Jedne promienie odbiją się od wyniosłości tej powierzchni; inne pójdą głębiej, jak gdyby nieco wchodząc w głąb ciała; na powierzchni ciała utworzy się jak gdyby cienka skórką, do której światło wchodzi i z której napowrót wychodzi. Łatwo zrozumieć, że wychodzące światło nie utworzy już snopu, lecz rozproszy się we wszystkich kierunkach; będzie to światło *rozproszone*, jak zwykle mówimy. Światło np., które nazywamy »dziennem«, jest światłem słonecznem, rozproszonem w odbiciu od chmur i od wszystkich przedmiotów, jakie wkoło nas się znajdują.

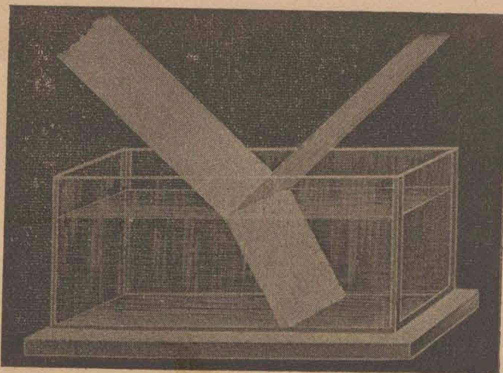
Kiedy snop światła odbija się od zwierciadła *w ciemnym* pokoju, wówczas widzimy obraz odbity, ale samego zwierciadła dostrzedz prawie nie możemy; dowód to, że całe światło odbite szło w jednym tylko kierunku. Jeśli zwierciadło jest zapylone, widzimy je, przeciwnie, z różnych miejsc w pokoju; wtedy przynajmniej część światła się rozprasza. Podstawmy rękę, papier lub płótno pod snop padającego światła; nigdzie nie zobaczymy wyraźnego odbitego obrazu, lecz pokój napełni się bladem, nieco mdłem światłem rozproszonem. Pomiędzy rozpraszaniem się a odbijaniem się światła zachodzi więc istotna różnica. Dzięki światłu rozproszonemu widzimy ciało, które je rozprasza ~~światło~~; dzięki światłu, wyłącznie tylko odbitemu, widzielibyśmy jedynie ciało, które je wysyła.

§ 123. Widzimy nie tylko świecące ale i oświetlone przedmioty.

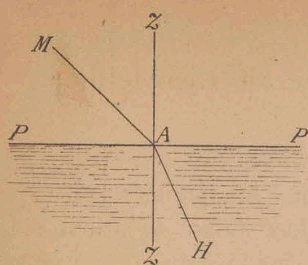
Słońce wysyła światło, jest ciałem świecącem. Gwiazdy, jak Syryusz np., są również świecącemi ciałami. Ale planety i księżyc same przez się nie świecą; światło ich jest tylko światłem słonecznem odbitem w lustrze i zarazem rozproszonem. Płomień lampy, ogień na kominku, pasemko węgla w zasilanej przez prąd lampce żarowej (§ 110.), kawałek fosforu, robaczek świętojański — wszystko to są ciała świecące. Natomiast mnóstwo otaczających nas ciał nie świeci; ziemia np., kamienie, woda, przedmioty drewniane, metalowe, gliniane, sukno, płótno i t. d. są niewidzialne w ciemności i stają się widzialne dopiero, gdy są »oświetlone«, t. j. gdy światło pada na nie zkądinąd. A zatem widzimy wszystkie te ciała tylko dzięki światłu, które one ~~odbijają albo~~ odbijają i rozpraszają. W ten sposób np. widzimy smugi światła, jeśli promienie słoneczne wchodzą do pokoju przez szczeliny i szpary i jeśli dużo pyłu unosi się w powietrzu, lub też, gdy puściliśmy umyślnie obłoczek dymu w drogę promieni słonecznych.

§ 124. Łamanie się światła.

Puśćmy płaską smugę światła na powierzchnię wody, jak pokazuje rys. 131. Zobaczymy przebieg światła przez powietrze i wodę, jeśli wprowadzimy obłoczek dymu w powietrze a do wody dodamy nieco mleka. W powietrzu widzimy dwie smugi, jedną światła padającego, drugą — odbitego. W wodzie widzimy również smugę, ale *nie stanowi ona* ~~*linii*~~ przedłużenia w kierunku *prost*ym ~~*ze*~~ *smug*i *padając*ej *na wodę.* ~~Smuga światła, idąca przez wodę, jest mniej nachylona ku powierzchni wody, niż smuga, padająca na nią z powietrza.~~ Poprowadźmy linią *PP* poziomo; niechaj ona wyobraża



Rys. 131.

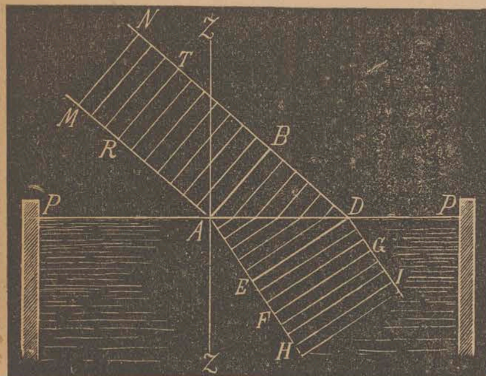


Rys. 132.

powierzchnię wody (rys. 132.). Poprowadźmy inną linią *ZZ* pionowo, więc prostopadle do pierwszej. Niechaj *MA* wyobraża kierunek światła, padającego na wodę; światło, idące przez wodę, ma wówczas kierunek *AH*, oddaliło się więc od *PP* a zbliżyło do prostopadłej *ZZ*. Powiadamy, że ***światło załamało się*** w przejściu z powietrza do wody.

§ 125. Dlaczego światło łamie się w przejściu z powietrza do wody.

Światło, jak powiedzieliśmy w § 118-ym, rozchodzi się z prędkością 300000 *km* na sekundę. Jest to prędkość zwyczajna, z jaką światło biegnie przez puste przestworza np. pomiędzy słońcem a ziemią, z jaką biegnie ono również w powietrzu. Lecz światło przez inne ciała biegnie powolniej; np., rozchodząc się *w wodzie*, przebywa tylko 225000 *km* w ciągu sekundy czyli trzy czwarte drogi, jaką przebywa w tymsamym czasie w powietrzu. Zatem, gdy w powietrzu światło ujdzie np. 4 centymetry, w wodzie ujdzie w tymsamym czasie tylko 3 centymetry.



Rys. 133.

Ta mniejsza w wodzie niż w powietrzu prędkość światła jest przyczyną łamania się światła w przejściu z powietrza do wody. Przypuśćmy istotnie, że na powierzchnię wody *PP* (rys. 133.) pada snop, czyli wiązka promieni światła. Widzimy na rysunku dwa promienie tej wiązki, *MA* i *ND*, które stanowią jej granice. Światło biegnie *naraz* wszystkiemi promieniami wiązki, więc np. jest jednocześnie w *M* i w *N*, w *R* i w *T*, jednem słowem posuwa się ono naprzód jakby liniami: *MN*, *RT*, *AB* i t. d.

Taka linia nazywa się *czołem* wiązki świetlnej. Jeśli wiązka świetlna pada na wodę ukośnie (jak na rysunku), wówczas promień *MA* dobiega do wody wcześniej, niż promień *ND*; gdy pierwszy jest w *A*, drugi jest dopiero w *B*. Pierwszy promień wchodzi teraz do wody; drugi biegnie jeszcze przez powietrze. Światło biegnie powolniej w wodzie niż w powietrzu; w tym czasie, w którym drugi promień od *B* dojdzie do *D*, pierwszy promień odbędzie w wodzie drogę krótszą, a przeto czoło wiązki w wodzie nie będzie nachylone taksamo, jak *MN*, jak *RT*, jak *AB*, lecz cofnie się nieco wstecz stroną pierwszego promienia, czyli będzie położone tak, jak *ED* np. jak *FG*, jak *HI* i t. d. A zatem kierunek rozchodzenia się światła w wodzie będzie inny niż w powietrzu, będzie mianowicie bardziej zbliżony do prostej dolnej *AZ*, prostopadłej do powierzchni *PP*. Taka jest zatem przyczyna łamania się światła w przejściu z powietrza do wody. Uczyńmy tu jeszcze następującą uwagę. Według naszego rozumowania, światło odbywa, w tymsamym czasie: w powietrzu drogę BD, w wodzie drogę AE. A zatem długość BD musi mieć się do AE jak 300000 km do 225000 km, czyli jak 4 : 3.

W szkle światło rozchodzi się z prędkością około 200000 km na sekundę; gdyby więc rysunek 133. wyobrażał przejście światła z powietrza do szkła (tj. gdyby ciało poniżej PP było szkłem) wówczas BD miałaby się do AE jak 3 : 2.

Na tę uwagę powołamy się w dalszym ciągu. —

Przypuśćmy teraz, że światło pada na powierzchnię *PP* prostopadle (a więc tak, jak np. *ZA* na rys. 132-im). Czoła w wiązce padającej są wówczas równoległe do *PP* i wszystkie promienie

światła wchodzą do wody w tejsamej chwili. A zatem teraz niema powodu, ażeby czoła wiązki nachyliły się w wodzie inaczej niż w powietrzu, ażeby przestały być równoległe do *PP*. Światło w wodzie pójdzie więc w poprzednim kierunku (w kierunku *AZ* na dół); światło nie załamuje się, gdy wchodzi do wody prostopadle do jej powierzchni.

§ . Prawo załamywania się światła.

Ażeby poznać prawo załamywania się światła, połóżmy, jak w §   m, na poziomo rozpostartym arkuszu papieru, grubą ~~płytkę~~ płaską płytkę szklaną, jak wskazuje rys. , I. Na jednej ze ścian pionowych płytki [przykleić] nacinamy kreskę *HK* i spoglądamy na *HK* poprzez płytkę, np. z miejsca *L*. Wpinamy jedną szpilkę *A* na linii *PP*, granicy pomiędzy szkłem a powietrzem, tak, żeby zakrywała obraz kreski *HK*, widziany od *L*; drugą *M* tak, żeby zakrywała i obraz kreski *HK* i pierwszą szpilkę *A*, podczas gdy ciągle patrzymy od *L*. Wówczas wnosimy, że promień światła od *H* idzie przez szkło do *A*, wzdłuż *HA*, następnie przez powietrze idzie ku nam wzdłuż *AM*. Zaznaczamy na papierze punkt *H*, rysujemy *PP*, prostopadłą do *PP* linią *ZAZ*, linie *HA* i *AM* ~~przedłużenie linii HA~~, (rys. , II) Widzimy, że światło w przejściu ze szkła do powietrza łamie się; mianowicie, wprost przeciwnie niż w przejściu z powietrza do szkła, oddala się wówczas od prostopadłej *ZAZ*. Jeśli światło przybiega przez powietrze, wzdłuż *MA*, idzie dalej przez szkło wzdłuż *AH* (§§   ) i jeśli przybywa ze szkła, wzdłuż *HA*, biegnie dalej przez powietrze wzdłuż *AM*.

Uzupełnijmy teraz rys. II w następujący sposób. Prowadzimy z punktu *A*, jako ze środka, koło, promieniem dowolnym (rys.   ) Promienie (*AH*, *AM*) przecinają się z obwodem koła w miejscach (*h*, *m*). Poprowadźmy linie (*hk*, *mp*), prostopadłe do *ZAZ*; wymierzywszy długość tych linij, przekonamy się, że *mp* ma się do *hk*, jak 3 : 2.

Powtórzmy teraz doświadczenie tak, ażeby promień padający i załamany miały inne nachylenie do ZZ niż poprzednio. W tym celu narysujmy drugą kreskę, obok poprzedniej HK (rys. I) i spoglądajmy z tegoż samego miejsca L; albo też na tęsamą kreskę HK spoglądajmy z innego miejsca niż L. Przypuśćmy, że (zbudowawszy znów promień padający i załamany, otrzymaliśmy [poprowadzimy] na rys. , jako padający: AJ, jako załamany: AN. Prowadzimy znów prostopadłe ij oraz nq i, zmierzywszy ich długość, przekonywamy się, że nq ma się do ij jak 3 : 2. W ten sposób poznaliśmy stałe prawo załamywania się światła: Przedewszystkiem widzimy, że promień załamany znajduje się w płaszczyźnie, w której leży promień padający i prostopadła do płaszczyzny granicznej (pomiędzy powietrzem a wodą, lub powietrzem a szkłem, wogóle pomiędzy dwoma ciałami, przez które światło przebiega) [a więc w tej samej płaszczyźnie, w której odbity]. Powiadamy dalej: kąty, tworzone przez promień padający i promień załamany z prostopadłą do płaszczyzny granicznej są takie, że prostokątne (jak mp i hk), stojące naprzeciwko tych kątów (mAp i hAk) przy przeciwprostokątnych równych sobie (Am = Ah), mają się do siebie zawsze jak 3 : 2, jeśli światło przechodzi z powietrza do szkła; jak 4 : 3, jeśli przechodzi z powietrza do wody; i t. d. Np.:

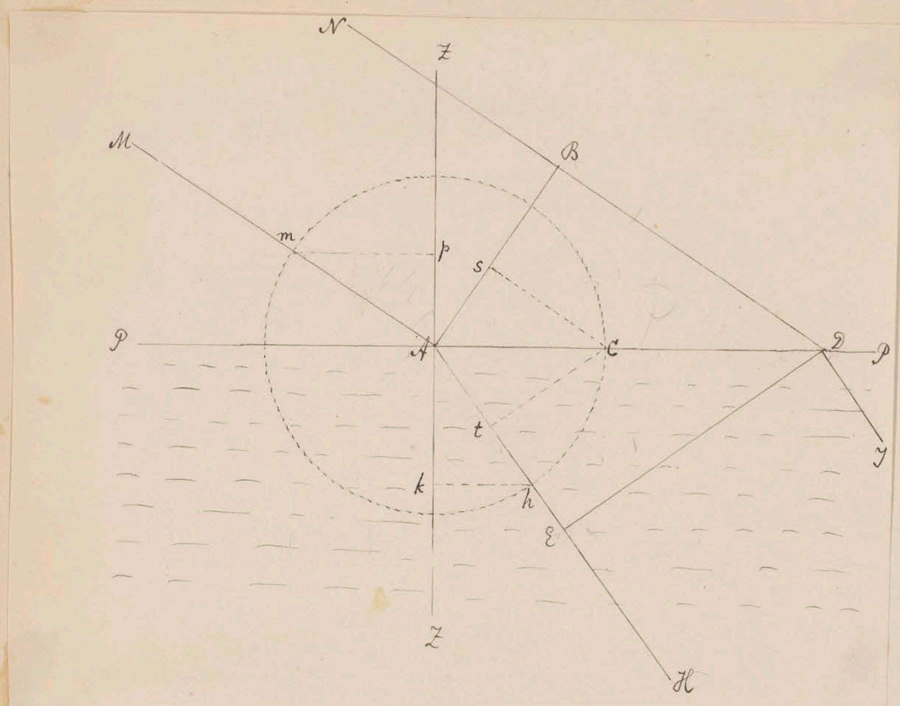
mp : hk = 3 : 2

nq : ij = 3 : 2 i t. d. dla wszelkich (jakkolwiekbądź nachylonych) promieni padających i załamanych.

Stosunek przyprostokątnych, taki, jak 3:2 dla powietrza i szkła, lub 4:3 dla powietrza i wody, nazywamy spółczynnikiem załamania światła w danej parze ciał; lub prościej spółczynnikiem załamania w szkle, w wodzie i t. d., rozumiejąc zawsze, jako drugie ciało, powietrze. Możemy powiedzieć: spółczynnik załamania światła w każdem ciele jest stały; t. j. nie zależy od nachylenia padających i załamanych promieni. W ten sposób możemy również wypowiedzieć drugą część prawa o załamywaniu się światła.

5. Dlaczego spółczynnik załamania jest stały.

Jeśli powrócimy do rozumowania 5 -go, wytłomaczymy bez trudności, dlaczego spółczynnik załamania światła w każdem ciele jest stały. Uważajmy rys. , na którym PP (jest jak na rys. 133, granicą między powietrzem a wodą;) promienie zaś MA, NAD,



AEH, DJ mają tosamo znaczenie, jakie miały na rys. 133 m. Z punktu A poprowadźmy koło promieniem AC; zbudujmy przyprostokątne mp i hk, znane z poprzedzającego artykułu, oraz linie: Cs, prostopadłą do AB; dalej Ct, prostopadłą do AE.

Widzimy łatwo, na mocy podobieństwa trójkątów ABD i AsC, że

$$BD : sC = AD : AC.$$

Na mocy podobieństwa trójkątów AED i AtC widzimy dalej, iż:

$$AE : At = AD : AC.$$

Z tych dwóch proporcyj wynika więc trzecia:

$$BD : sC = AE : At$$

którą możemy napisać: $BD : AE = sC : At$.

Ale sC = mp, gdyż trójkąty Amp i AsC są równe sobie; podobnie At = hk, gdyż trójkąty ACt i Ahk są równe sobie; o tem można przekonać się bezpośrednim pomiarem. A zatem

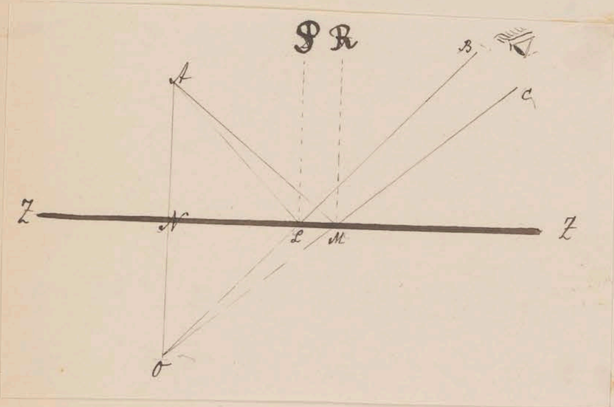
$$BD : AE = mp : hk.$$

Otóż stosunek mp : hk nazwaliśmy, w artykule poprzednim, spółczynnikiem załamania światła; stosunek zaś BD : AE jest to, jak zauważyliśmy w § 125-m, stosunek dróg, odbywanych przez światło, w powietrzu i w wodzie, w czasie jednakowym, czyli stosunek prędkości światła w powietrzu i w wodzie. Udowodniliśmy zatem, że spółczynnik załamania światła w wodzie równa się stosunkowi prędkości rozchodzenia się światła w powietrzu do tejże prędkości w wodzie; objaśniliśmy zatem, że równa się on $\frac{4}{3}$. Nadto, ponieważ światło rozchodzi się, czy w powietrzu, czy w wodzie, z prędkością jednakową we wszelkich kierunkach, więc dlatego spółczynnik załamania światła w wodzie nie zależy od kierunku promienia, czyli jest stały.

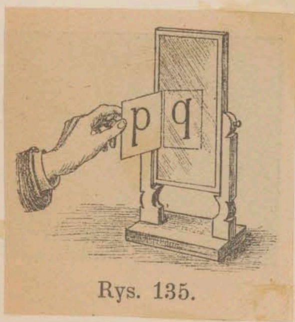
Są ciała, mianowicie t. zw. niektóre kryształy, w których światło rozchodzi się z rozmaitą prędkością w rozmaitych kierunkach; dlatego też w takich ciałach spółczynnik załamania światła nie jest stały i prawo załamywania się, wypowiedziane w § , nie stosuje się więc do takich kryształów.

§ . Niektóre skutki odbijania i załamywania się światła.

Przypuśćmy, że promień światła AL (rys.), idący od ~~promienia~~ punktu A, odbija się w L od powierzchni zwierciadła ZZ; według prawa odbijania się światła (§) pójdzie on wzdłuż LB. Lecz A wysyła promienie we wszystkie strony. Inny promień, np. AM odbije się w M i pójdzie wzdłuż MC. Ponieważ kąt AMR jest nieco większy niż ALP, zatem i kąt RMC jest nieco większy niż PLB; innemi słowy: promienie LB i MC rozchodzą się, mianowicie ~~rozchodzą się~~ o tyle, o ile rozchodziły się AL i AM. Rzeczywiście, jeśli przedłużymy BL i CM po za linię ZZ, wówczas przetną się one w punkcie O i kąt LOM jest dokładnie równy kątowi LAM. (Możemy się też łatwo przekonać, że AO jest prostopadła do ZZ i że AN = ON.)



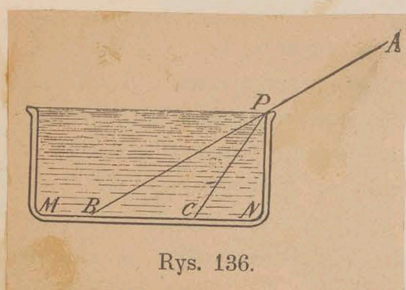
Jeśli tedy patrzymy od strony BC, promienie LB i MC sprawią w oku takie wrażenie, jak gdyby były wyszły z punktu O; w umyśle przedłużamy bezwiednie BL i CM aż do przecięcia się w O i przypisujemy te promienie LB i MC nieistniejącemu źródłu ~~światła~~ O, które wysyłałoby je rzeczywiście, gdyby nie było zwierciadła. Tym sposobem powstaje w O t. zw. obraz punktu A, widziany w zwierciadle. Tym samym sposobem powstają obrazy całych przedmiotów, odbijane przez zwierciadła, szyby lustrzane, przez powierzchnie wód i t. d.



Rys. 135.

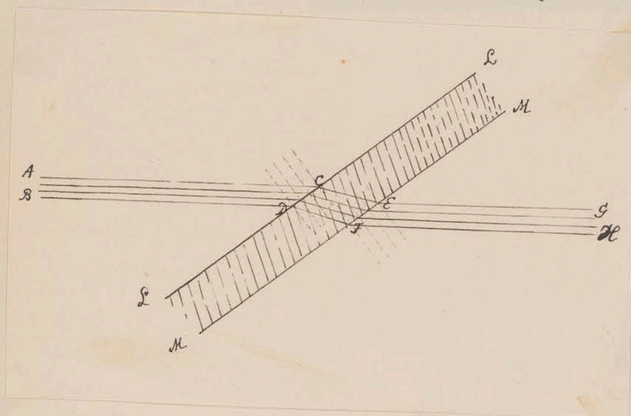
Powiedzieliśmy wyżej, że AN = ON; zatem im dalej od powierzchni zwierciadła znajduje się punkt, wysyłający promienie, tem dalej też od tej powierzchni widzimy obraz punktu; łatwo więc zrozumieć, że obraz odbity każdego przedmiotu będzie położony odwrotnie niż sam przedmiot względem odbijającej powierzchni; np. litera p będzie wyglądała w odbiciu jak litera q (rys.)

Przez załamywanie się światła powstają skutki podobne. Wiemy, że światło, w przejściu z wody do powietrza, załamuje się odwrotnie niż w przejściu z powietrza do wody (§); mianowicie, iż oddala się wówczas od linii prostopadłej do powierzchni granicznej. Możemy to okazać za pomocą prostego przyrządu. Weźmy prostokątne pudełko MNP i narysujmy podziałkę na jego dnie (rys.) Patrząc od A,



Rys. 136.

widzimy wówczas część MB podstawki; resztę BN zasłania ścianka NP samego pudełka. Napełnijmy pudełko wodą i patrzmy z tegosamego miejsca A, z którego spoglądaliśmy wprzódy; dzięki załamywaniu się światła widzimy dalszą część podstawki, sięgającą np. do C. Podobnym sposobem można wytłomaczyć, dlaczego kij, zanurzony do połowy w wodzie, tak, aby był nachylony ku powierzchni wody, wydaje się jakgdyby złamany.



Ponieważ w przejściu ze szkła do powietrza światło załamuje się wprost przeciwnie niż w przejściu z powietrza do szkła, zatem łatwo zrozumieć, że promienie światła, jak AC, BD i t.d. (rys.) trafiwszy na płytkę szklaną LLMM o równoległych ścianach, nachyloną do nich ukośnie, pójdą dalej, jak EG, FH i t.d.; t.j. że pójdą równolegle do swych pierwotnych kierunków. Dwa, przeciwne sobie, załamania każdego promienia znoszą się, jak widzimy na rysunku; tak że snop promieni nie zmieni ostatecznie kierunku, przesunie się tylko, np. jak na rys. na dół, jeśli AC, BD i t.d. wyobrażają linie poziome. Możemy to sprawdzić np. na świetle słonecznem, wpuszczonem do ciemnego pokoju, w sposób, jaki pokazuje rys. 123

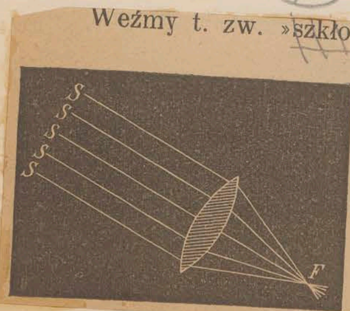
tem mniej im cieńsza

Światło załamuje się nietylko w przejściu z jednego ciała do innego ciała. Gdy mięszamy wodę zimną z bardzo gorącą, spostrzegamy w niej smugi migotliwe, które przez chwilę błyszczą i niebawem znikają. Jest to objaw załamywania się światła w przejściu z wody zimnej do gorącej. Podobne zjawiska dzieją się w atmosferze; one są powodem, że światło nie biegnie przez atmosferę dokładnie prostolinijnie; światło słońca np. dochodzi nas codziennie, w końcu dnia, jeszcze przez niejaki czas, chociaż słońce już zaszło i znajduje się pod widnokręgiem.

(Op)

5 Soczewka

Weźmy t. zw. »szkło palące« czyli soczewkę wypukłą, wyrobioną ze szkła. (Soczewka wypukła jest to ciało o takiej *postaci*, jaką otrzymalibyśmy, złożywszy dwa szkiełka od zegarka wklęsłemi stronami do siebie). Jak wiadomo, szkło palące gromadzi promienie np. słoneczne *SSS* (rys. 137.) w jednem miejscu *F*, w t. zw. *ognisku* soczewki. Zbli-



żajmy do soczewki ćwiartkę papieru po stronie odwróconej od słońca; w odległości *F* zobaczymy punkt bardzo jasny, w którym papier niebawem się zwęgli; zapałka tam umieszczona zapali się. A zatem w punkcie *F* skupia się nie tylko światło, lecz i ciepło słoneczne. Co się tu dzieje? Wystawmy sobie wiązkę słonecznych promieni *SA*, *SC*, *SB*, padającą na soczewkę *MN*, jak okazuje rys. 138. Widzimy tam (kropkowane) czoła tej wiązki; jednem z nich jest *ACB*. Kiedy promień *SC* jest w *C* i wbiega do szkła, promień *SA* jest w *A* i biegnie przez powietrze. A zatem, kiedy pierwszy promień dojdzie do *E*, drugi promień odbędzie drogę dłuższą, dojdzie np. do *D*. Łatwo więc zrozumieć, że czoło wiązki zakrzywi się; zamiast być płaskie jak wprzódy, będzie, jak *DEH*, wklęsłe ku *F*. Lecz skoro pierwsze czoło jest zakrzywione i wklęsłe ku *F*, przeto i następne (które na rysunku widzimy kropkowane) będą zakrzywione i wklęsłe ku *F*; innemi słowy, światło od wszystkich części soczewki pójdzie ku *F* i skupi się w *F*.

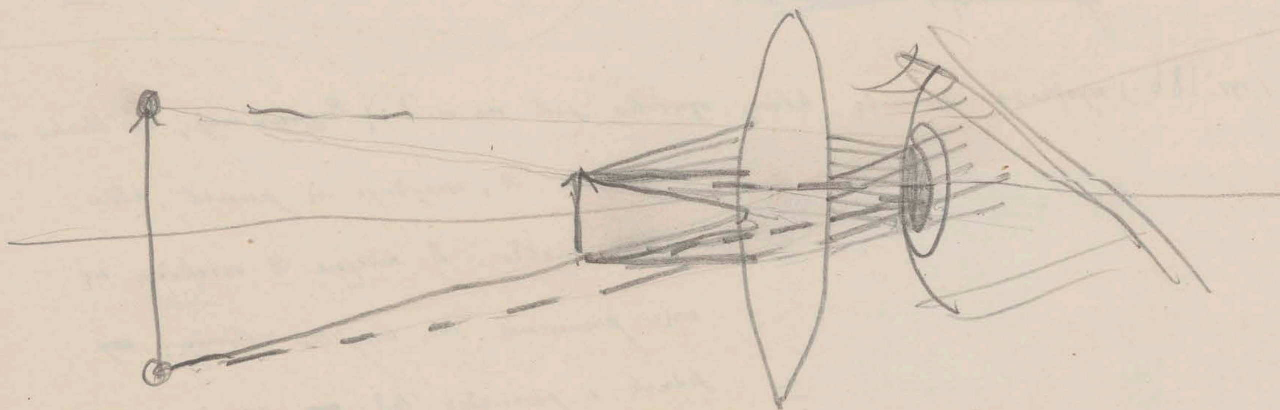
Rys. 138.

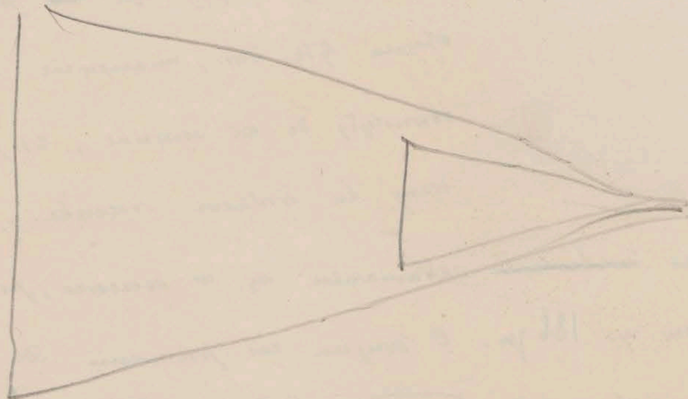
Obrazy pozorne.

~~Obrazy, tworzone przez soczewkę.~~

Niechaj MN (rys. 186.) wyobraża soczewkę, której ognisko jest np. w F; [C jest „środkiem" soczewki, MCN wyobraża jej poprzeczne płaskie przecięcie, do którego prostopadła linia SCF nazywa się osią soczewki.] Przypuśćmy, że blizko soczewki, np. w miejscu B, znajduje się punkt, który wysyła światło. Z miejsca B rozchodzą się więc promienie we wszystkie strony; jednak, z pomiędzy tych promieni, uważajmy obecnie tylko dwa, mianowicie 1) promień BD, równoległy do osi soczewki; 2) promień BC, skierowany ku środkowi soczewki. O pierwszym, BD, wiemy z artykułu poprzedzającego, że, po załamaniu się w soczewce, przejdzie przez ognisko soczewki; a zatem pójdzie jak EF na rys. 186 ym. O drugim zaś promieniu BC możemy powiedzieć, że pójdzie on dalej w swoim pierwotnym kierunku, (jak CH zatem) na rys. 186. Istotnie: cząstka powierzchni przez którą ten promień wchodzi do soczewki i cząstka, przez którą z niej wychodzi, są równoległe do siebie; zatem część soczewki, przez jaką promień BCH przebiega, jest dla niego jakby płytką o równoległych ściankach (§), reszta zaś soczewki (na bieg tego promienia) nie wywiera wpływu. Właściwie więc CH będzie linią równoległą do BC, nieco względem niej przesuniętą; lecz to przesunięcie zaniedbujemy na rysunku.

(Rys. 186)





H 9

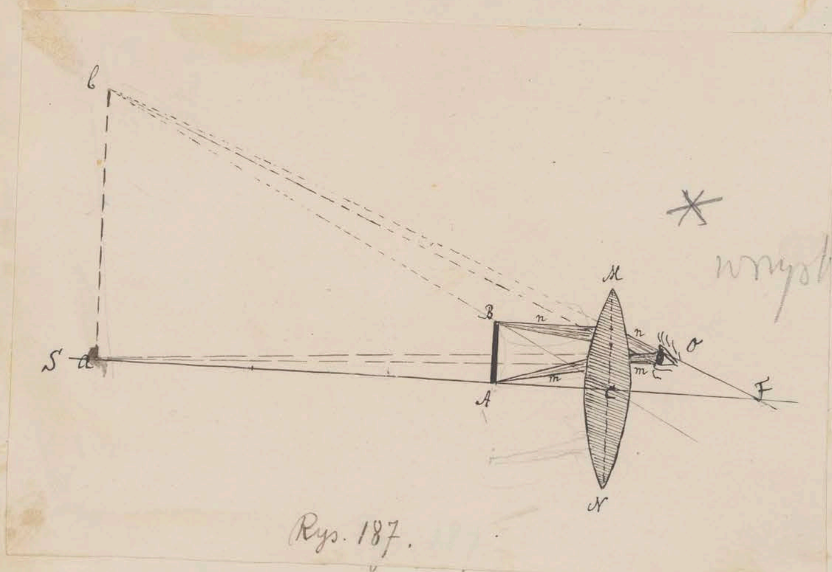
A zatem)

(Promienie BD i BC pójdą za soczewką jako EFG i CH. Jeśli patrzymy od strony F, promienie te sprawią na nas wrażenie, jak gdyby były wyszły z punktu b; w umyśle przedłużamy bezwiednie GFE i HC aż do przecięcia się w b i przypisujemy promienie EFG i CH nieistniejącemu źródłu b, które wysyłałoby je rzeczywiście, gdyby nie było soczewki. Tym sposobem powstaje w b obraz punktu B, tworzony przez soczewkę.

5. Dlaczego soczewka powiększa.

Przypuśćmy, że rozpatrujemy przedmiot AB przez soczewkę MN, umieściwszy ją między przedmiotem a okiem, w sposób, jaki wskazuje rys. 187. Na zasadzie tego, co powiedzieliśmy w artykule poprzednim, znajdziemy obraz punktu B, utworzony przez soczewkę; przypadnie on w miejscu b. Obraz punktu A przypadnie w miejscu a i t. d.; w ab utworzy się przeto całkowity obraz przedmiotu AB. Oko, umieszczone w O, otrzyma od każdego punktu przedmiotu AB snopek promieni, który przypisze odpowiedniemu punktowi obrazu ab; np. snopek mm, pochodzący z A, punktowi a; snopek nn, pochodzący z B, punktowi b i t. d.

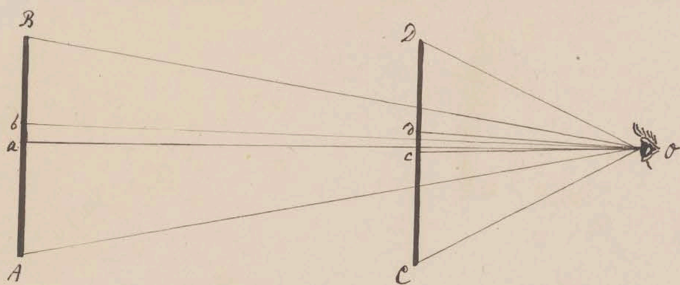
wszystkie inne pkty .. dadzą obrazy leżące między a, b



Rys. 187.

Z rysunku 187-go widzimy, że obraz ab jest większy, niż przedmiot AB. To jednak bynajmniej nie objaśnia, dlaczego soczewka „powiększa" (jak się mówi zazwyczaj); albowiem obraz ab, choć większy niż AB, jednak od oka znajduje się dalej. Żeby zrozumieć, co właściwie sprawia soczewka, trzeba zważyć co następuje.

Pozorną wielkość przedmiotów oceniamy według kąta, jaki tworzą w oku promienie, idące od krańców przedmiotów. Nazywamy ten kąt kątem widzenia danego przedmiotu. Na rys. 188-ym np. kątem widzenia przedmiotu AB jest AOB, przedmiotu CD jest COD i t. d. Im bardziej zbliżymy do oka dany

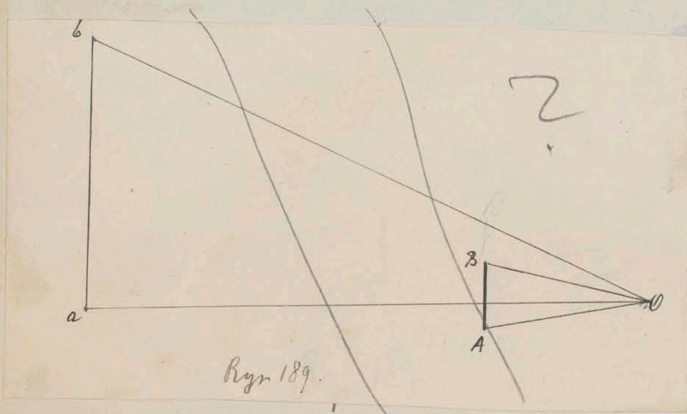


Rys. 188.

przedmiot, tem kąt widzenia staje się znaczniejszy i tem dokładniej, tem bardziej szczegółowo widzimy ten przedmiot. Przyczyna tego jest prosta. Gdy dwa promienie tworzą w oku pewien kąt bardzo mały, nie możemy ich od siebie odróżnić. Jeśli np. bO i aO tworzą taki kąt aOb bardzo mały, nie możemy rozróżnić punktów b i a uważanego przedmiotu w położeniu AB (rys. 188). Jeśli przedmiot zbliżymy, np. do CD, tesame punkty c, d wysyłają promienie cO, dO które utworzą kąt cOd, większy od aOb, dostateczny, ażebyśmy rozróżnili punkty c, d uważanego przedmiotu.

W zbliżaniu tem znajdujemy, jak z codziennego doświadczenia wiadomo, pewną granicę. Oko normalne i zdrowe widzi drobne przedmioty np. pismo lub druk najlepiej w odległości 25 cm mniej więcej; gdy próbujemy ~~przyglądać się przedmio~~ ~~tem jeszcze~~ bardziej zbliżka przyglądać się przedmiotom widzimy obrazy niejasne, jakgdyby za rozmazane.

Powróćmy teraz do obrazu ab, przedmiotu AB, tworzonego przez soczewkę, rys. 187. Zbudujmy kąty widzenia obrazu i przedmiotu: aOb i AOB, jak to widzimy na rys. 189., gdzie wszystkie litery odpowiadają literom na rys. 187 poprzednio. Przekonamy się, że te dwa kąty są sobie równe ~~sobie~~ prawie zupełnie dokładnie. Soczewka więc właściwie wcale nie powiększa. Lecz usuńmy soczewkę MN z pomiędzy przedmiotu i oka; przekonamy się, że bezpośrednio okiem widzimy obraz AB ~~wyraźnie~~ niejasny, jakgdyby rozmazany; AB na rys. 187. jest znajduje się od oka bliżej niż w odległości najlepszego widzenia; bliżej niż 25 cm,



Rys. 189.

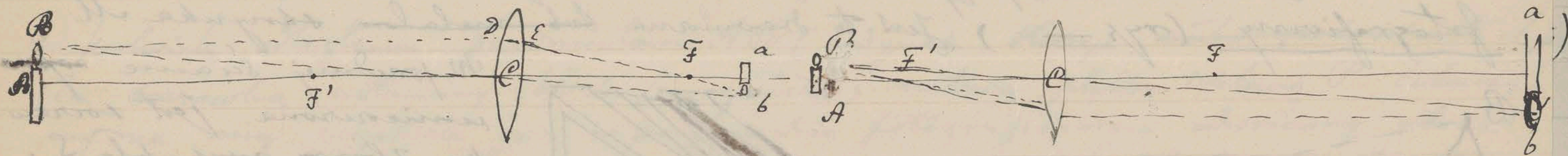
jeśli oko jest normalne i zdrowe. ~~Przeciwnie~~, ~~patrzymy~~ Trzymamy mimowolnie zawsze oko i soczewkę w taki sposób, ażeby obraz ab ~~przedmiotu~~ przypadał w odległości najlepszego widzenia; ~~jak to~~ możemy to sprawdzić na każdej soczewce bezpośrednio. ~~Podobnie~~ Przy czytaniu np. książki, zbliżamy ją do oczu tak, ażeby papier przypadał w odległości najlepszego naszego widzenia; ~~podobnie~~ gdy patrzymy przez soczewkę, obraz ab a nie przedmiot AB jest tem, na co patrzymy, ustawiamy więc oko i soczewkę tak, żeby obraz przypadał w odległości najlepszego naszego widzenia.

*

8 — Obraz rzeczywisty i jego zastosowania

W obu poprzedzających artykułach przyjmowaliśmy, że przedmiot rozpatrywany przez szkło powiększające, ~~to~~ t. j. przez soczewkę wypukłą, znajdował się w niewielkiej od niej odległości, podczas gdy ~~ze strony~~ oko umieszczone z przeciwnej strony patrzyło nań na wskroś przez soczewkę. Promienie wychodziły za soczewki i wstępowały do oka rozbieżnie, tak jak gdyby źródłem ich był obraz utworzony przez soczewkę, a nie sam przedmiot.

Gdybyśmy jednak odsunęli przedmiot znacznie dalej od soczewki, wówczas promienie wychodziłyby z niej zbieżnie, przecinałyby się za soczewką. Wszakże widzieliśmy w art — że promienie słoneczne padające na soczewkę, przeszedłszy przez nią zbiegają się w jednem miejscu (fig —) tworząc ognisko F. ~~Tę granicę, poza od której pozyskując promienie poczynają się rozchodzić a przestają się zbierać jest drugie ognisko F′ (fig —) soczewki, leżące z tej strony~~ ~~B~~ Żeby promienie wychodziły ze soczewki zbieżnie, wystarczy umieścić przedmiot w ~~odległości~~ większej odległości od soczewki aniżeli jej ognisko F′, n. p. tak jak na rys — i rys —



rys — (n. p. świeca zapalona)   rys —

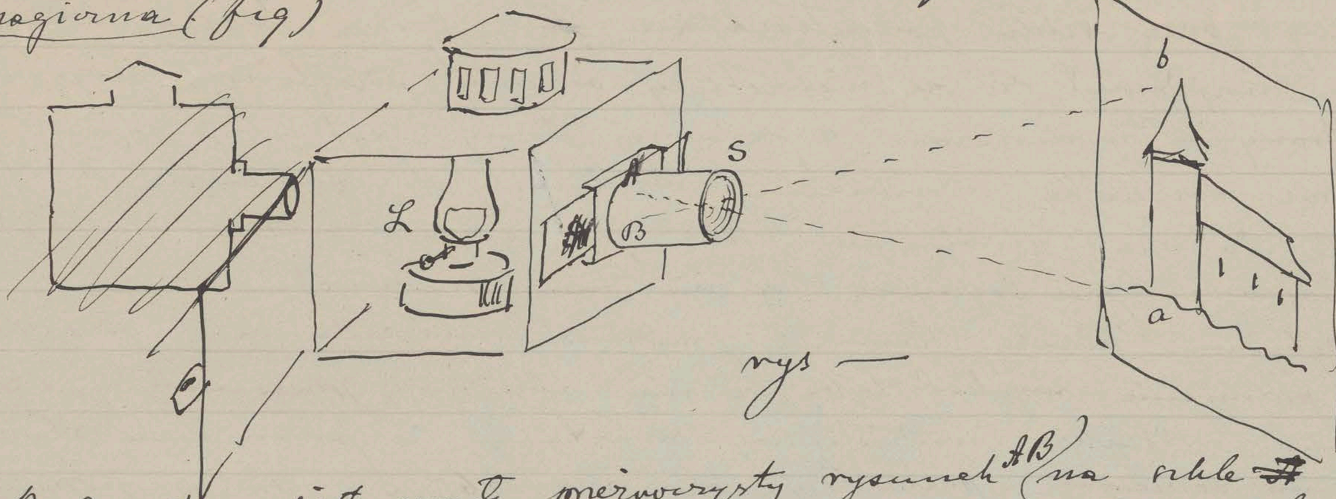
Na rys — przedmiot AB (n. p. świeca zapalona) jest duży, znajduje się daleko od soczewki. Kreślimy, jak w art — promień BD równoległy do osi i promień BC do środka soczewki. Dostrzegamy, że ~~po~~ po przejściu przez soczewkę one teraz przecinają się w punkcie b. W ab powstaje mały odwrócony obraz przedmiotu AB. Obraz taki, powstający z przecięcia się istotnego promieni nazywamy rzeczywistym, gdybyśmy bowiem umieścili w odpowiedniej odległości za soczewką kartkę białego papieru albo szkło matowe zobaczylibyśmy na niej maluteńki odwrócony wizerunek świecy.

Na rys — przedmiot AB jest malutki, ale jednocześnie jest znacznie więcej ~~niż po~~ do soczewki zbliżony, znajduje się od niej niewiele dalej, aniżeli jej ognisko F′. Poznajemy łatwo, że przypadek ten jest odwróceniem poprzedzającego. Gdybyśmy na rys (poprz). przyjęli ab za przedmiot, AB byłoby jego obrazem. Podobnie na rys — mały przedmiot AB, ustawiony cokolwiek ~~przed~~ ogniskiem F′ daje obraz ab powiększony znacznie, odwrócony.

Ilekroć przedmiot jest ustawiony w większej od soczewki odległości aniżeli jej ognisko, tworzy się zawsze po przeciwnej stronie soczewki obraz rzeczywisty, zawsze odwrócony. Obraz ten ~~jest~~ będzie zmniejszony jeżeli przedmiot ~~będzie~~ jest odległy, powiększony, jeżeli przedmiot ustawiony blisko ogniska.

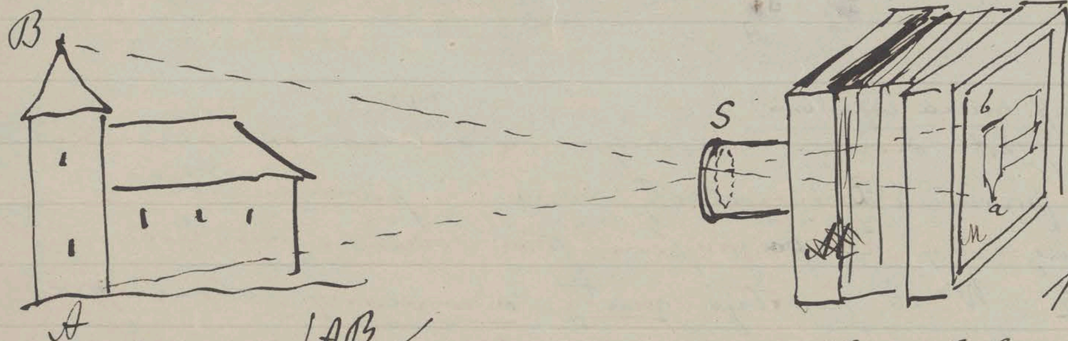
Ilekroć przedmiot jest ustawiony bliżej soczewki aniżeli jej ognisko, wówczas jak w art — i — ~~obraz będzie pozorny~~ tworzy się obraz pozorny, powiększony z tej samej strony co i przedmiot. soczewka działa wówczas jak zwykłe szkło ~~pow~~ powiększające. —

Znanem dobrze zastosowaniem obrazów rzeczywistych jest latarnia magiczna (fig)



Przedmiotem jest mały przezroczysty rysunek AB (na szkle ~~#~~ umieszczony przed soczewką S (nieco dalej niż jej ognisko) oświetlony silnie płomieniem lampy L ukrytej w blaszanej latarni. Rysunek ten zakłada się w położeniu odwróconem. Na ścianie ~~napr~~ powstaje wówczas duży obraz ~~tego~~ rzeczywisty tego rysunku, na który może patrzeć jednocześnie wiele osób (~~tera~~ Natomiast obraz pozorny szkła powiększającego (art— rys— ~~stwój~~ ~~asie~~) widoczny jest tylko dla oka przyłożonego do soczewki). Obrazy latarni magicznej odpowiadają przypadkowi objaśnionemu na rys —.

Zastosowaniem przypadku rysunku — jest znowu przyrząd fotograficzny (rys —) Jest to drewniana ~~lub metalow~~ skrzynka M.



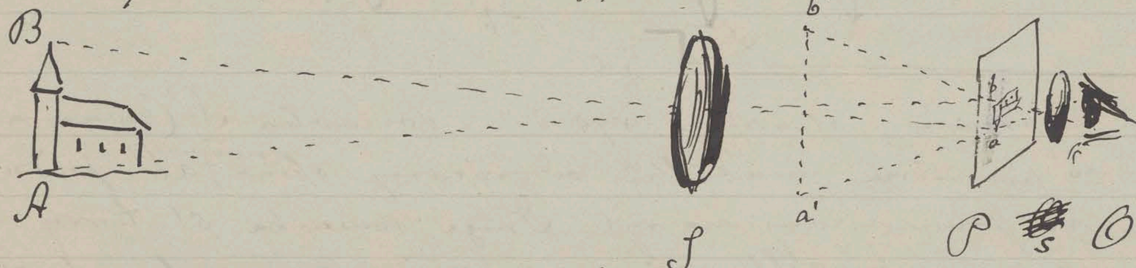
W przedniej ścianie ~~wpra~~ umieszczona jest soczewka ~~zbier~~ wypukła S; tylna ściana, naprzeciw soczewki zrobiona jest z matowej szyby szklanej. Przedmiotem jest odległy budynek AB, albo krajobraz, albo osoba. Soczewka tworzy obraz rzeczywisty, zmniejszony i odwrócony na szybie matowej. Obraz ten można utrwalić zapomocą fotografii. Wyjmuje się szybę matową, a na jej miejsce wstawia się płytkę szklaną, na której jest rozprowadzona warstewka kleju (żelatyny) zmieszanego z bromkiem srebra. Ciało to rozkłada się pod wpływem światła F, a jeżeli światło jest tak rozmieszczone że tworzy obraz budynku lub osoby, wówczas obraz ten (F wydzielając srebro, w postaci ciemnego proszku) zarysuje się na płytce szklanej. Będzie to jednak t.zw. ujemny rysunek albo negatywa. Najjaśniejsze bowiem miejsca obrazu wydzieliły najwięcej srebrnego proszku, wydają się zatem ciemne; ciemne natomiast części obrazu (drzewa, ciemne ubranie itp) nie zmieniły bromku srebra, który w tych miejscach pozostaje przezroczysty. Bromek srebra niezmieniony wypłókuje się następnie z płytki (roztworem podsiarczynu sodowego w wodzie) przez co, jak powiadamy, rysunek fotograficzny utrwala się

to masy przestaje być wrażliwym na światło

Ażeby otrzymać rysunek podobny co do rozkładu światła do przedmiotu (t.zw. rysunek dodatni albo pozytyw) ~~należy~~ wystarczy płytkę fotograficzną skopiować. W tym celu podkłada się pod nią kartkę papieru ~~pokrytą~~ na której znowu jest rozprowadzona warstewka soli srebrowej, czerniejącej pod działaniem światła. Pod jasnemi, przezroczystemi częściami ~~ob~~ płytki papier sczernieje, nie zmieni się natomiast pod temi, które na negatywie były ciemne. Tym sposobem otrzymuje się na papierze wierny wizerunek przedmiotu ~~[illegible]~~ który wystarczy utrwalić w podobny sposób jak utrwalono negatyw, żeby mieć skończoną fotografię. —

8.— Luneta

Weźmy dużą soczewkę wypukłą S (rys —) zwróćmy ją ku jakiemu-



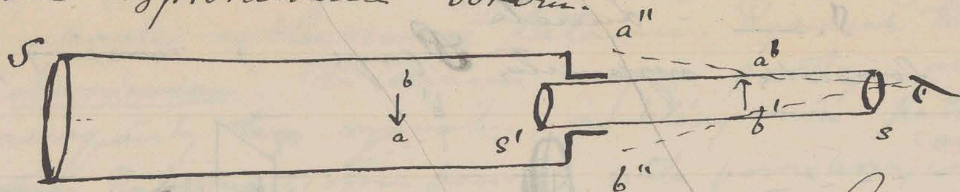
kolwiek odległemu przedmiotowi AB (budynek, kościół, ~~albo gwiazda~~ i.t.p.) Za soczewką ustawmy (blisko jej ogniska) matową płytkę szklaną P. Zobaczymy na niej, zupełnie jak w przyrządzie fotograficznym odwrócony obraz ab tego przedmiotu. Lecz, jeżeli przedmiot jest bardzo odległy, to obraz ten będzie bardzo malutki. Ażeby ~~[illegible]~~ go wyraźnie zobaczyć zastosujmy szkło powiększające. Ustawmy tedy za płytką matą, ale silnie wypukłą soczewkę s, tuż za nią oko O. Zobaczymy wtenczas, jak to było wyłożone w art— powiększony obraz a'b' obrazu ab.

Płytka matowa jest oczywiście zbyteczna. Usunąwszy ją na bok, będziemy wciąż widzieli powiększony obraz a'b' obrazu rzeczywistego ab a nawet będziemy widzieli go wyraźniej i jaśniej, bo płytka zabierała nam pierwej dużo światła. Promienie będą teraz szły wprost od dużej soczewki S do małej s. Będą się wciąż przecinały w ~~punkcie a i~~ ~~w punkcie b i w innych~~ punktach a i b, będą tam zawsze tworzyły obraz rzeczywisty, ale obraz ten tworzyć się będzie w powietrzu, nie zobaczylibyśmy go patrząc z boku. Patrząc wprost, w kierunku promieni, zapomocą powiększającego szkła s, dostrzeżemy go jako obraz a'b'.

Takie dwie soczewki, duża S, ~~słaba~~ i mała silnie powiększająca s oprawione w metalową ~~lub drewnianą~~ rurę stanowią lunetę. Luneta służy do oglądania przedmiotów oddalonych. Patrząc gołem okiem ~~dostrzegamy~~ na przedmiot odległy n.p. na drzewo, widzimy je ~~(choćby był wielki)~~ pod tak małym kątem widzenia, że nie podobna odróżnić w nim żadnych szczegółów, nie podobna zobaczyć pojedynczych liści. Luneta pokazuje nam ten przedmiot pod kątem widzenia (a'Ob') znacznie większym, powiększa go jak mówimy. W obrazie powiększonym

odróżnimy z łatwością szczegóły, gałązki, liście i t.p. Nieocenione usługi luneta oddaje astronomom, pozwala bowiem widzieć na powierzchni ciał niebieskich (słońca księżyca planety) tak drobne szczegóły, jakich nie zobaczonoby nigdy gołem okiem (gwiazdy stałe są tak odległe, że nawet w najsilniejszych lunetach czyli teleskopach przedstawiają się tylko jako punkty świecące).

Luneta urządzona tak, jak to właśnie opisaliśmy pokazuje obrazy odwrócone, drzewo przedstawia się w lunecie koroną na dół korzeniami do góry odwrócone. W spostrzeżeniach astronomicznych taka odwrotność obrazów bynajmniej nie przeszkadza. Do oglądania przedmiotów na ziemi można uzupełnić lunetę jeszcze jedną soczewką, której zadaniem będzie wyprostowanie obrazu.

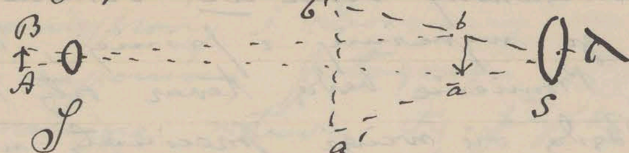


Taką lunetę, razem z oprawą, okazuje rys — . Soczewka S (zwana objektywą) tworzy w powietrzu malutki odwrócony obraz (rzeczywisty) ab przedmiotu odległego AB, którego nie pomieszczono na rys. Druga soczewka S' tworzy z tego obrazu nowy obraz rzeczywisty a'b', nie powiększając go wcale, ale obraz ten jest już prosty. Wreszcie oko patrzy ~~na~~ na ten obraz przez szkło powiększające s i dostrzega obraz a"b", pozorny, prosty i powiększony.

§. — Mikroskop.

Obraz rzeczywisty tworzący się w lunecie odpowiada przypadkowi objaśnionemu w art — rysunkiem — . przedmiot jest dużo odległy, obraz tworzy się odwrócony, malutki blizko ogniska soczewki. Drugi z omówionych w art — przypadków znajduje zastosowanie w mikroskopie.

Weźmy soczewkę S malutką ale możliwie silnie wypukłą rys — Ustawmy przed nią jakiekolwiek drobne ciało n.p. ziarnko piasku



AB w odstępie od soczewki cokolwiek większym niżeli odstęp jej ogniska. Wiemy z art — że w tych warunkach soczewka utworzy po przeciwnej stronie obraz rzeczywisty, silnie powiększony i odwrócony ab. Zawsze jednak i ten jeszcze obraz, mimo powiększenia, będzie bardzo mały. Zastosujmy więc, podobnie jak to czyniliśmy w art — (poprz) do oglądania tego obrazu ~~go~~ drugą soczewkę S, jako szkło powiększające. Zobaczymy wówczas silnie powiększony obraz pozorny a'b'.

Takie dwie soczewki, malutka a silnie wypukła i druga działająca jako szkło powiększające tworzą, razem mikroskop t.j. przyrząd do oglądania przedmiotów nader drobnych, gołem okiem ~~zgoła~~ częstokroć zgoła niewidzialnych. Urządzenie mikroskopu, razem z odpowiednią oprawą, objaśnia rys — s S M L. Mały przedmiot kładziemy na ~~stoliku M~~ płytce szklanej, którą kładziemy na stoliku M mającym w środku otwór. Umieszczone pod otworem lusterko L odbija światło do góry i oświetla przedmiot. Nad stolikiem umieszczona rura metalowa w której oprawiono socz.

więcej, niż wymienionych siedm zabarwień, ponieważ brak na to wyrażeń utartych w mowie potocznej. Taki szereg obrazów barwnych nazywa się <u>widmem</u> (słonecznem); przypomina on <u>tęczę</u>, bo też tęcza powstaje w sposób podobny, dzięki załamywaniu się światła w drobnych kropelkach wody.

§ . Widmo płomienia; widmo słoneczne.

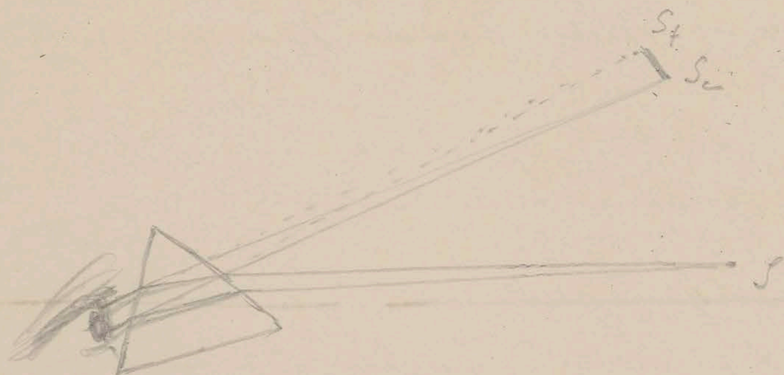
Umieśćmy mocno, jasno świecącą ~~w pokoju, w którym innych źródeł światła niema. Zastosujmy~~ lampę w nieprzezroczystem pudle (np. w skrzyni drewnianej), mniej więcej podobnie, jak na rys. 203-im; ~~[illegible]~~ w ścianie pudła lub skrzyni wytnijmy <u>nadzwyczaj</u> <u>wązką</u> szczelinę czyli <u>szparę</u>. Otrzymamy tym sposobem płaską smugę światła, bijącą ze skrzyni. Rzucamy tę smugę na pryzmat. Niechaj <u>S</u> na rys. wyobraża jedno miejsce szczeliny, <u>PRZ</u> zaś pryzmat w przecięciu poziomem. Umieszczając oko w O, zobaczymy „widmo" płomienia, czyli szereg barwnych obrazów szczeliny. Ażeby widmo to było, jak się mówi, <u>czyste</u>, t.j. ażeby nie składało się z zachodzących na siebie wielu widm (które mieszałyby się ze sobą), musimy użyć przedewszystkiem szczeliny bardzo ~~nadzwyczaj~~ wązkiej, powtóre zaś umieścić ją daleko od pryzmatu, np. w odległości kilku metrów od niego; albowiem ~~tylko~~ wówczas promienie takie, jak SA, SB będą jeśli nie pod ściśle równoległemi, to przynajmniej pod niewielkiemi różnemi kątami trafiały przednią ścianę pryzmatu, ~~możliwie mało rozbieżne~~. Możemy też tak postąpić: umieszczamy szczelinę niezbyt daleko od pryzmatu, lecz pomiędzy szczeliną a pryzmatem ustawiamy soczewkę ~~skupiającą~~ tak, żeby obraz <u>pozorny</u> szczeliny (§ 161), utworzony przez soczewkę, został odrzucony od pryzmatu na odległość znaczną, choćby nieskończoną. ~~[illegible], jak poprzednio, np. kilku metrów~~.

Rys. 211.

Czyste widmo płomienia lampy jest zbudowane z takich samych i tak samo ułożonych barwnych obrazów, jak te, które składają widmo słoneczne. Jednakże, badając dokładnie czyste widmo słoneczne, uczeni wykryli w niem cienkie, ~~[illegible]~~ czarne ~~(czyli ciemne)~~ <u>prążki</u> czyli linie. Jest ich tam mnóstwo; ~~wyraźniej jednak odcina się siedm linij, a mianowicie: w czerwonej części widma trzy linie, jedna linia~~ nazywamy je liniami „widmowemi" lub „Fraunhofera"

Str. 163

F zatem odchylą się o kąty również prawie jednakowe, skutkiem czego z wiązki rozbieżnej SA, SB utworzy się wiązka również rozbieżna S'A, S'B, odchylona od poprzedniej o kąt dla każdej barwy inny.



V W tym ostatnim razie patrzymy na widmo przez lunetę (S)
a ~~p~~ całe takie urządzenie nazywamy] spektroskopem

§ 167. Widma, powstające przez pochłanianie.

Zamknijmy dostęp powietrza w palniku gazowym; płomień staje się wówczas jasny i mocno świecący. Taki płomień daje, jak wiemy, widmo zupełne, wykazujące promienie wszystkich barw, czyli ciągłe. Weźmy teraz drugi palnik i utwórzmy, posługując się nim, płomień „sodowy”, opisany w artykule poprzednim. Umieśćmy ten drugi płomień w taki sposób, żeby promienie z pierwszego, świecącego płomienia, zanim padną na soczewkę i pryzmat, w którym się rozszczepiają, (szły przez ten drugi płomień „sodowy.”) Zbadajmy widmo, które wytworzy się teraz. Przekonamy się, że tworzy się widmo zupełne, czyli ciągłe, jak przedtem, lecz przecięte ciemną pręgą w części żółtto-pomarańczowej, D, (jak na rys. 194, II. Widmo to wykazuje więc obecność promieni wszystkich barw i łamliwości, oprócz promieni tej właśnie łamliwości, jaka odpowiada linii D w widmie. Są to właśnie promienie, jakie wysyła płomień „sodowy”, jak przekonaliśmy się w artykule poprzednim. Jeśli obecny płomień świecący znajduje się tam, gdzie poprzednio umieszczony był płomień sodowy i wszystkie inne przyrządy zajmują tesame położenia, wówczas linia D ciemna (na rys. 194, II) przypadnie dokładnie w temsamem miejscu widma, w którem pojawiała się linia D jasno-świecąca w doświadczeniu poprzedniem (rys. 194, I). Innemi słowy: linia D, jasna i ciemna, zgadzają się z sobą dokładnie. Ztąd wnosimy, że płomień sodowy pochłania czyli powstrzymuje tesame dokładnie promienie D, które sam przez się jest zdolny wysyłać. Do miejsca D (na rys. 194, II) dochodzą teraz widocznie tylko te promienie, które wysyła płomień drugi, sodowy; do wszystkich innych miejsc widma dochodzą promienie z pierwszego, świecącego płomienia; pierwsze promienie mają natężenie nieporównanie słabsze, niż promienie drugie; więc miejsce D, oświetlone nieporównanie słabiej, wydaje się ciemne czyli czarne.

Gdyż elektryczna

Wytworzyliśmy zatem sztucznie widmo, mające charakter słonecznego widma; otrzymaliśmy mianowicie widmo zupełne, ciągłe, lecz przecięte ciemną pręgą sodu. Gdybyśmy wprowadzili do drugiego palnika, pochłaniającego światło, inne metale i związki, moglibyśmy wytworzyć podobnie wiele dalszych pręg ciemnych, jakie widzimy w widmie słonecznem. Ztąd zatem wnosimy, że

